

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

**Testovací měření na profesionálním atmosférickém
optickém spoji**
**Testing Measurement of Professional Free Space
Optics (FSO)**

2011

Tomáš David

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra informatiky

Zadání bakalářské práce

Student:

Tomáš David

Studijní program:

B2647 Informační a komunikační technologie

Studijní obor:

2612R059 Mobilní technologie

Téma:

Testovací měření na profesionálním atmosférickém optickém spoji
Testing Measurement of Professional Free Space Optics (FSO)

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je nastavit proti sobě 2 optická pojítka a zrealizovat měření chybovosti na vychylování svazků, dle atmosférických změn.

1. Realizace infrastruktury pro bezvláknové optické pojítko.
2. Nastavení přijímací a vysílací hlavičky a změření rozložení optického výkonu po průřezu svazku.
3. Měření statistiky chybovosti daného spoje.

Seznam doporučené odborné literatury:

SALEH, Bahaa E. A.; TEICH, Malvin Carl. *Fundamentals of Photonics*, 2nd Edition. New York: John Wiley & Sons, [April 2007]. 1200 p. ISBN 978-0-471-35832-9.

LAMBERT, S. G., CASEY, W. L. *Laser Communications in Space*. Artech House, 1994.

FRANZ, J. H., JAIN, V. K. *Optical Communications Components and Systems*. Narosa Publishing House, 2000.

HOSS, R. J.; *Fiber optic communications design handbook*. 1st Edition. New Jersey: Prentice-Hall Int.[1990], 435 p. ISBN-13: 978-0-133-08586-0

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jan Látal**

Datum zadání: 19.11.2010

Datum odevzdání: 06.05.2011



doc. Dr. Ing. Eduard Sojka
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci na téma „Testovací měření na profesionálním atmosférickém optickém spoji“ vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě 6.5.2011

.....
podpis autora

Poděkování

Tímto děkuji vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Janu Látalovi za účinnou pedagogickou a odbornou pomoc, neustálou ochotu řešit problémy a za cenné rady, které jsem od něj mohl dostávat při vypracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat prof. Ing. Otakaru Wilfertovi, CSc. za zapůjčení zařízení firmy Festo. Také děkuji své rodině za trpělivost a podporu při studiu, Davidu Tomanovi, Ing. Františkovi Hanáčkovi a Radku Pobořilovi za potřebnou pomoc při realizaci některých částí práce. Tato práce byla podpořena projektem GAČR GA102/09/0550 - Studium optických svazků pro atmosférické statické a mobilní komunikace.

V Ostravě 6.5.2011

.....
podpis autora

Abstrakt

Tato práce pojednává o problematice optických bezvláknových spojů. V práci je uveden teoretický rozbor problematiky optických bezvláknových spojů a vlivů atmosférického přenosového prostředí na tyto spoje. V praktické části se pak soustředí na realizaci infrastruktury pro montáž optických bezvláknových hlavíc. Hlavním cílem této práce bylo vytvoření funkčního zařízení pro měření optického výkonu po průřezu optického svazku a jeho následné změření. To zahrnovalo zapojení prvků měřicího zařízení, vytvoření aplikace pro měření a praktické měření v reálném provozu. V poslední části se pak práce zabývá měřením chybovosti daného optického bezvláknového spoje.

Klíčová slova: Optický bezvláknový spoj, atmosférické prostředí, turbulence, optický svazek, měření průřezu svazku, bitová chybovost

Abstract

This thesis deals with problematic of free space optics (FSO). There is theoretical analysis of the problems with optical communications and atmospheric environment on the transmission links in this work. The practical part of this work focuses on the implementation of infrastructure for installation of FSO link. The main objective of this work was to create a functional device for measuring optical power of cross section of optical beam and measurement with this device. This included the involvement of elements of measuring device, creating an application for measurement and practical measurements in real traffic. The last part of the thesis deals with the measurement errors of the FSO link.

Key Words: free space optics, atmospheric environment, turbulence, optical beam, beam cross-section measurement, bit error measurement

Obsah

1. Úvod	7
2. Skladba optického bezvláknového spoje	8
2.1. Výhody OBS	8
2.2. Nevýhody OBS	9
3. Bezvláknová optická hlavice	10
3.1. Zdroj záření	11
3.1.1 Princip laserové diody	11
3.2. Druhy modulací	12
3.3. Detektory záření	13
3.4. Optické čočky	14
4. Laserový svazek	16
4.1. Gaussův svazek	16
4.1.1 Optická intenzita Gaussova svazku	17
4.1.2 Optický výkon Gaussova svazku	17
4.2. Top hat svazek	17
4.3. Okrajový svazek	18
5. Přenosové prostředí	19
5.1. Rayleighův rozptyl	20
5.2. Mieův rozptyl	22
5.3. Meteorologická viditelnost	22
5.4. Turbulence	23
6. Realizace infrastruktury pro OBS	25
6.1. Vedení kabelů	26
6.2. Náměr trasy pomocí OTDR	28
7. Měření optického výkonu po průřezu svazku	31
7.1. Zapojení prvků měřicího zařízení	31
7.2. Testování funkčnosti zařízení	34
7.3. Komunikace se zařízením Festo přes sériovou linku	34
7.4. Komunikace s měřičem optického výkonu	35
7.5. Aplikace pro měření	36
7.5.1 Detaily měřicí aplikace	38
7.6. Použití měřicího zařízení v praxi	40
7.7. Naměřené grafy optického výkonu	42
8. Měření chybovosti	50
8.1. Měření pomocí zařízení EXFO	50
8.2.1 Měření BERT	51
8.2.2 Měření RFC 2544	52
8.2. Měření kvality přijímaného signálu hlavice	56
9. Závěr	59

10. Seznam použité literatury	60
Seznam použitých symbolů	61
Seznam použitých obrázků	62
Seznam použitých tabulek a grafů	64
Příloha A – Realizace infrastruktury	65
Příloha B – Měření optického výkonu po průřezu svazku	84
Příloha C – Měření chybovosti	90

1. Úvod

V dnešní přetechizované společnosti, ve které mají stále větší váhu informace, je přístup k nim velmi důležitý. Proto je nutné vyvíjet stále nové, rychlejší a lepší způsoby přenosu dat. Jednou z mnoha používaných technologií pro přenos dat je optický přenos, který využívá jako přenosové médium optické vlákno. Samotný přenos dat pak probíhá optickým vláknem, světlem vyzářeným zdrojem záření, kdy je na opačné straně trasy umístěn detektor, který vysílaný signál přijímá. Tato technologie je hojně využívána na páteřních sítích (a čím dál častěji i jiných) sítích pro distribuci internetu pro svou rychlost a stabilitu.

Tato práce se však bude zabývat méně rozšířenou technologií, a to přenosem dat pomocí bezvláknových optických spojů (dále jen OBS). V praxi se jedná o velmi podobný princip, kde je světelný vysílač a přijímač, pro přenos se využívá světla, avšak jako přenosové médium se používá atmosférické prostředí. Body, které chceme spojit takovýmto spojem musí být v přímé viditelnosti. Vysílací a přijímací hlavice se umísťují zpravidla na střechy a lze je umísťovat i do oken. To představuje velkou výhodu oproti technologiím využívající optická vlákna, protože není nutné jakkoliv zasahovat do zavedené infrastruktury (chodníky, cesty apod.).

Práce se zabývá problematice vlivu povětrnostních podmínek na technologii optického bezvláknového přenosu. V prvním bodě práce je řešena realizace zavedení infrastruktury pro montáž optického hlavice. Stěžejní součástí práce je pak sestavení měřícího zařízení pro měření optického výkonu po průřezu optického svazku. V druhé části práce se testuje, jak vypadá optický svazek po průchodu atmosférickým prostředím, jaký má tvar a výkon. V třetí části měřím bitovou chybovost spoje (BER) a další parametry spoje.

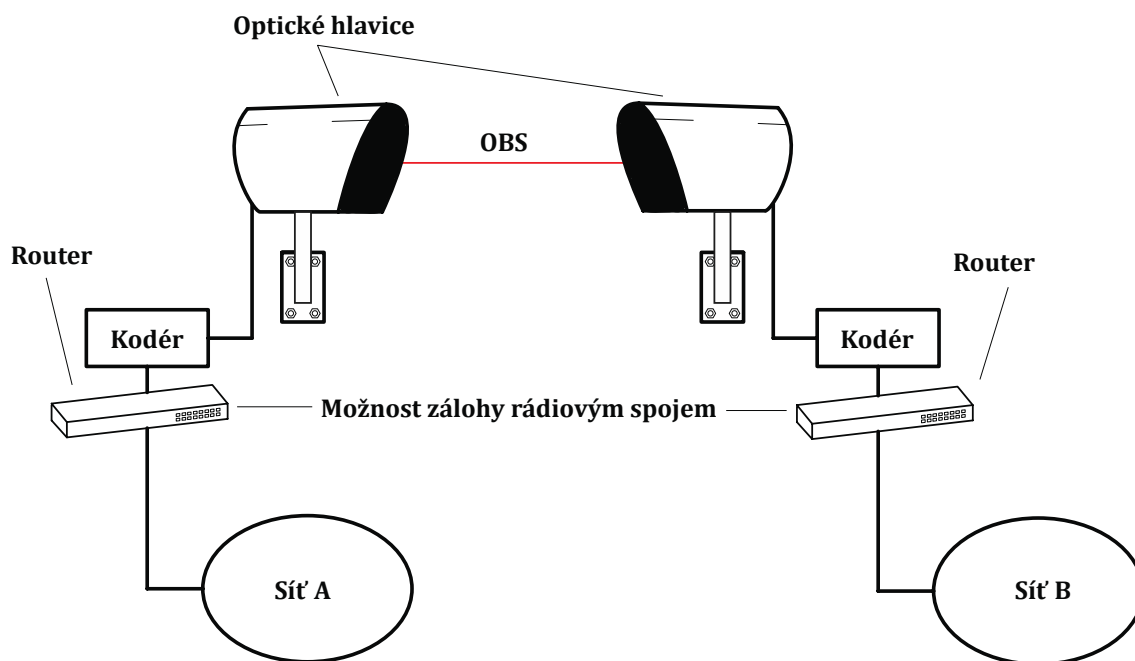
2. Skladba optického bezvláknového spoje

Optický bezvláknový spoj se skládá ze dvou optických hlavic, z nichž každé funguje v duplexním režimu tedy jako vysílač a zároveň přijímač. Mezi těmito zařízeními se nachází již přenosové médium (vzduch, případně okna apod.). Tyto optické hlavice jsou namířené proti sobě a musí být v přímé viditelnosti. Umísťují se zpravidla na střechy, ale mohou být umístěná také za okna budov.

Systémy optických bezvláknových spojů se dají rozdělit na dvě skupiny:

- kde je signálem přijímaným do optické hlavice již signál optický a tudíž není nutný žádný převod.
- kde je signálem přijímaným do optické hlavice signál elektrický a je nutné převést elektrický signál na optický.

V OBS systémech se můžeme setkat také s použitím jiné technologie, například přenosu pomocí radiových vln, které se používá jako zálohování pro případ výpadku OBS systému při nepříznivém počasí.



Obr. 2.1: Schéma optického bezvláknového spoje

2.1. Výhody OBS

Optický bezvláknový spoj má oproti jiným technologiím mnoho výhod, mezi které patří:

- Vysoké přenosové rychlosti (v současné době až 10Gbit/s)
- Snadná a rychlá instalace oproti například optickému přenosu vláken
- Bezpečnost pro zdraví člověka
- Nemožnost odposlechu – došlo by k přerušení svazku
- Využití nelicencovaných pásem

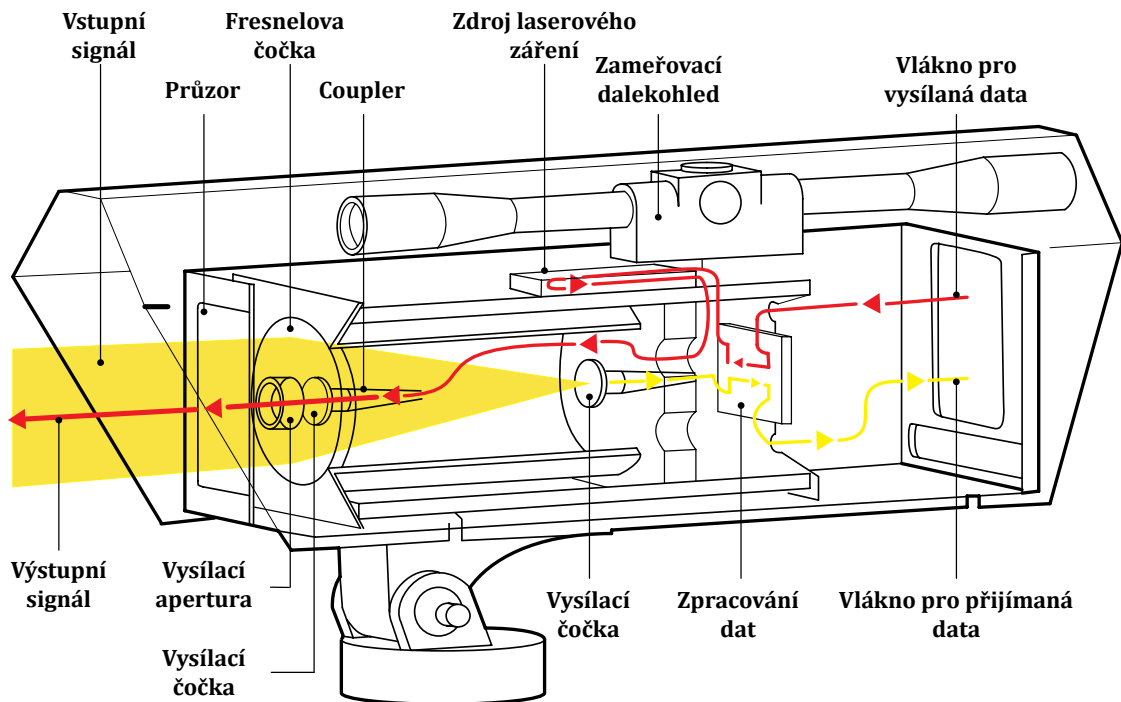
2.2.Nevýhody OBS

Mezi nevýhody optického bezvláknového spoje patří:

- Závislost na počasí – mlha, déšť, oblaka, bouřky, sníh, vítr
- Další nepříznivé vlivy – atmosférické turbulence, fluktuace, scintilace, přelety ptáků
- Malá přenosová vzdálenost (do cca 6 km) oproti přenosu optickými vlákny
- Nutnost přímé viditelnosti mezi body propojení

3. Bezvláknová optická hlavičce

Bezvláknovým pojítkem myslíme zařízení, které nám umožňuje přijímat a vysílat optický signál.



Obr. 3.1: Průřez bezvláknovou optickou hlavicí

Na obr. 3.1 můžeme vidět příklad optické hlavičky, která využívá přímo optického signálu jako zdroje dat.

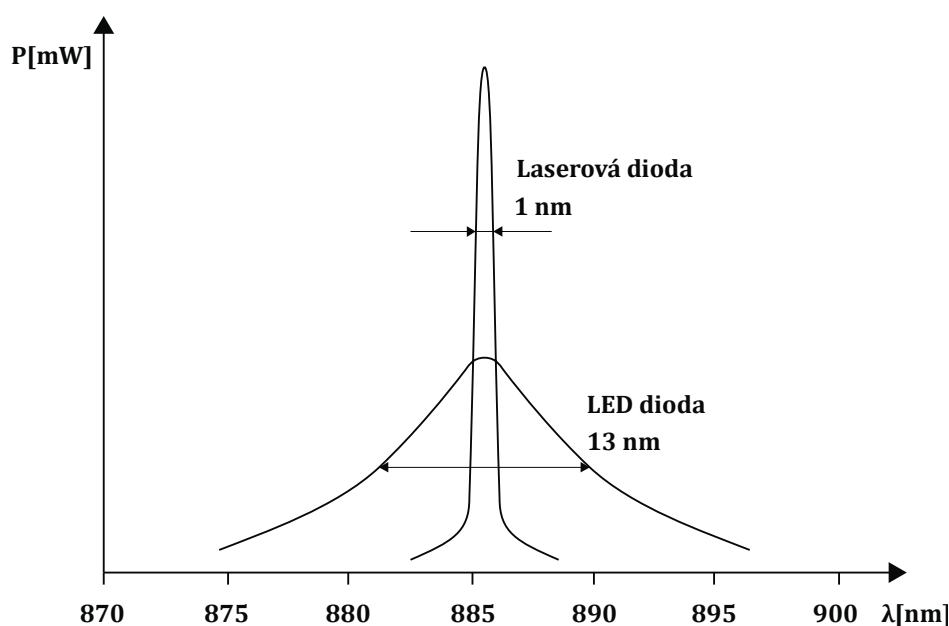
Do optické hlavičky nám vstupuje signál, který budeme vysílat, rozhraním pro vysílaná data. To nám obvykle dovoluje pro vstupní data použít optické vlákno pro optický signál, případně pro elektrický signál metalické vedení (zde je nutné použít media konvertor pro převod). Signál je namodulován modulátorem, optický zdroj používá budič pro vybuzení. V dnešní době se také setkáváme s větším množstvím vysílačů v jedné hlavičce pro větší spolehlivost spoje. Zdroj záření vysílá paprsek na vysílací čočku a poté je paprsek přes vysílací aperturu a krycí sklo ven ze zařízení vyzářen. Krycí sklo zabraňuje vniknutí nečistot, vody a jiných částic do systému a také obsahuje vyhřívání skla, které zabraňuje tvorbě námrazy na skle.

Součástí hlavičky bývá také zameřovací systém, který nám zajišťuje zaměření osy svazku s druhou hlavičkou. Nachází se zde také dalekohled pro prvotní nasměrování hlavičky.

Přijímací část hlavičky přijímá svazek signálu přicházející z hlavičky na druhé straně spoje. Vstupní signál je přes přijímací (např. Fresnelovu) čočku soustředěn na detektor záření, kde je dále zpracováván. Přijatá data se pak mohou převést opět na elektrický signál do metalického vedení, případně se vysílají dále do optického vedení.

3.1.Zdroj záření

Zdroj záření v optické hlavici slouží k tomu, aby byl převeden elektrický signál na optický, který je dále vysílán. Jako zdroj záření se v optické hlavici používá LED dioda nebo laserová dioda (LD). Je nutné volit takový vhodný zdroj, aby odpovídal přenášené vzdálenosti. V OBS se na delší vzdálenosti se používá výhradně laserová dioda, jelikož LED dioda má větší divergenci svazku. LD vyzařuje do značné míry koherentní světlo, výstupní divergence svazku je velmi nízká a zářivost je velmi vysoká, jak je vidět na obr. 3.2. LD má také nesporné výhody co se týče modulační rychlosti, LD můžeme používat až na frekvenci 1GHz a více, kdežto LED diody můžeme používat pouze až do cca 100-300MHz. LD používáme zpravidla na vlnových délkách 850, 1310, 1550 nm, které jsou v optických technologiích často používány.



Obr. 3.2: Spektrální charakteristika LD a LED diody

3.1.1 Princip laserové diody

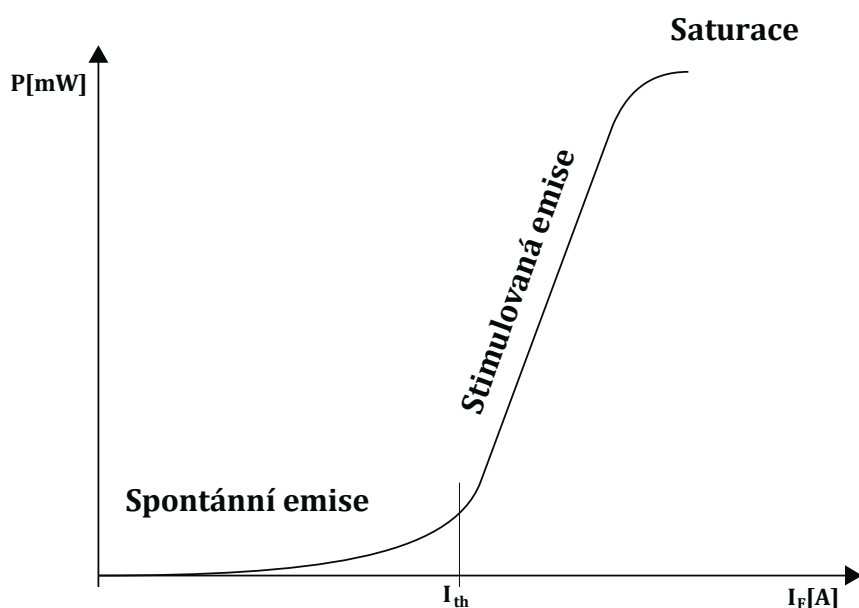
Laserové diody ke své činnosti využívají procesu stimulované emise. V PN přechodu dochází k injekci elektronů a děr. Elektrony a díry existují pouze několik nanosekund. Dochází k rekombinaci během které dochází k vyzáření fotonu. Jestliže do prostředí vstoupí foton s energií rovnou rozdílu energetických hladin ještě předtím než dojde k rekombinaci, potom dochází ke stimulované emisi. Foton pak stimuluje přechod elektronu do nižší energetické hladiny a tím i emisi dalšího elektronu, který má již stejnou fázi i polarizaci jako foton stimulující.

Jako u ostatních laserů, je i u laserové diody nutno použít optického rezonátoru k zesílení paprsku. K vytvoření takového rezonátoru se využívá odštípnutí krystalu v krystalografických rovinách a tím vzniká tzv. Fabry-Perotův rezonátor. Vyzáření světlo se odráží od okrajových zrcadel v dutině LD, tím vzniká stojatá vlna a světlo se usměrňuje do vidů. Jedno ze zrcadel je polopropustné, druhé je plně odrazné. Někdy se setkáváme i s částečně propustným druhým

zrcadlem, kdy je tento výstup použit pro monitorování vyzářeného výkonu. Pro činnost laseru jsou nutné následující 4 podmínky:

- Stimulovaná emise
- Inverze populace
- Napájení
- Kladná zpětná vazba (rezonátor)

Velmi důležitým parametrem laserové diody je tzv. prahový proud I_{th} . Po připojení k napájecímu napětí se bude při nízkém proudu I_F laserová dioda chovat jako LED dioda, bude pracovat pouze v režimu spontánní emise. Jakmile však začneme proud I_F zvětšovat a přesáhneme prahový proud I_{th} , přejde dioda do režimu stimulované emise. Vyzářovaný paprsek se stává koherentním, spektrální charakteristika se zúží a také se prudce zvýší světelný výkon. S rostoucím proudem I_F světelný výkon dále prudce stoupá až dojde k saturaci (nasycení), kdy už další rostoucí proud nevede k zvětšování světelného výkonu, jak je patrné na obr. 3.3.

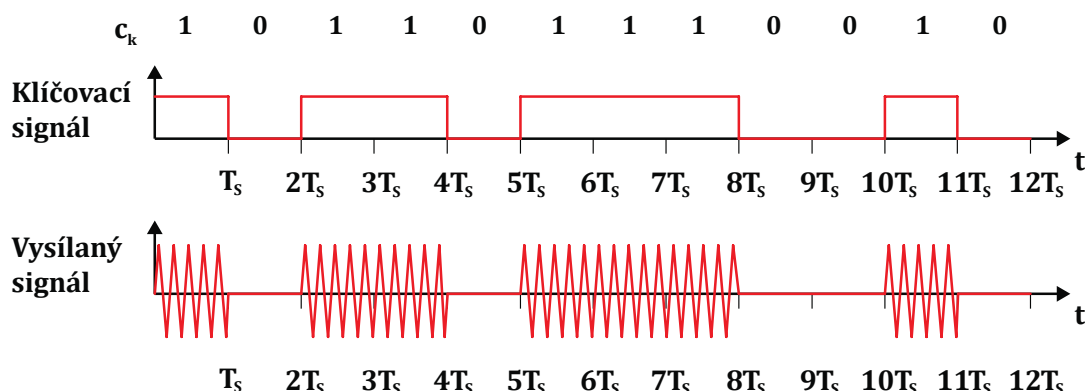


Obr. 3.3: Závislost proudu na světelném výkonu

Paprsek vyzářený z diody je symetrický, eliptický. Pro dosažení kruhového tvaru je nutné jej upravit optikou viz. kap. 3.4.

3.2. Druhy modulací

Nejčastějším způsobem modulace signálu je OOK (on/off keying), což je nejjednodušší způsob modulace. Prakticky je vysílaný signál vyslán pouze když je klíčovací signál v logické 1. Jestliže je klíčovací signál v 0, vysílaný signál není vyslán, jak je patrné z obr. 3.4.



Obr. 3.4: Modulace OOK

3.3. Detektory záření

Po vyslání světelného svazku je nutné tento přijímaný svazek zpracovat – převést optický signál na elektrický. Přijímaný světelný svazek je nasměrován do čočky, která jej soustředí na detektor záření. Používají se téměř bez výjimky detektory s PN přechodem. Jedná se o fotodiodu typu PIN nebo a zejména lavinovou fotodiodu APD. Detektor je velmi důležitým prvkem OBS, určuje účinnost a výkonnost celého systému.

Obyčejná fotodioda je v podstatě klasickou diodou s PN přechodem, s tím rozdílem, že do oblasti PN přechodu může vnikat světlo. Foton dopadající na PN přechod diody narazí do elektronu ve valenční vrstvě. Ten tím získá energii potřebnou k opuštění valenčního pásu a dostane se do pásu vodivostního. Na jeho místě vznikne díra. Takový uvolněný elektron je pak nosičem náboje, který snižuje odpor polovodiče.

Dioda PIN je také založena na PN přechodu, ale s tím rozdílem, že mezi silně dopované vrstvy P a N je vložena intrisická (nedopovaná) vrstva. Právě tato vrstva I odděluje obě vrstvy, aby se nosiče náboje „nezdržovaly“. Díky této vlastnosti je vhodná právě pro vysokorychlostní aplikace. Rychlost reakce změny osvětlení je velmi rychlá a pohybuje se v řádu ns až μ s.

Druhým typem fotodiody používaným jako detektor záření v optických pojítkách je dioda typu APD. Je vhodná především pro delší vzdálenosti, protože u předešlých typů diod generuje foton jediný pár elektron-díra, což se nehodí u aplikací s malou intenzitou záření. Funguje na lavinovém principu. Základním principem u APD diody je proces nárazové ionizace. Na diodu je v závěrném směru připojeno velké napětí (20-100V), které vytváří silné magnetické pole. Při uvolnění elektronu, vlivem tohoto pole, sebou strhává další elektrony lavinovým efektem. Tyto stržené elektrony tvoří další páry elektron-díra. Tento proces se nazývá fotonásobení a lze vyjádřit číselným koeficientem. Např. dioda s koeficientem 50 sebou vybudí přibližně 50 dalších elektronů. Základním předpokladem APD diody je, že její kvantová účinnost η je větší než 1. Tuto kvantovou účinnost lze vypočítat podle následujícího vztahu:

$$\eta = \frac{N_e}{N_p} [-], \quad (1)$$

kde N_e je počet elektronů, které vzniknou při dopadu určitého počtu fotonů N_p na fotodiodu.

Citlivost fotodiody pak můžeme vypočítat podle následujícího vzorce [7]:

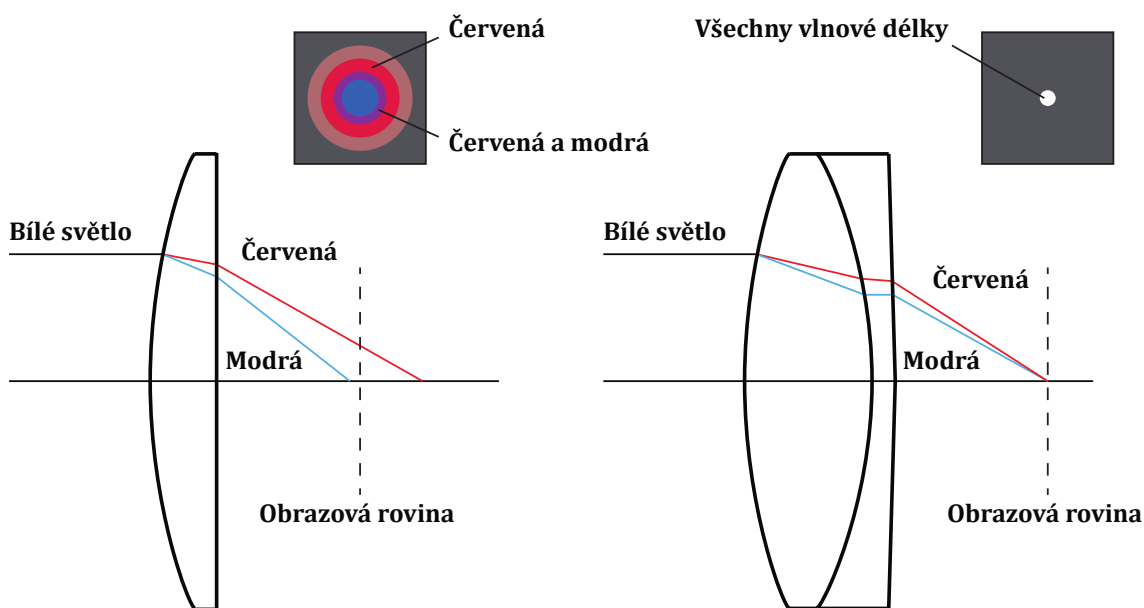
$$R = \frac{I_f}{P} \quad [\text{A.W}^{-1}, \text{A, W}], \quad (2)$$

kde I_f je výstupní proud fotodiody, P pak přijímaná světelný výkon.

Používané fotodiody se vyrábějí z různých materiálů, vzhledem k jejich vlastnostem. Pro nižší vlnové délky (viditelná oblast, 800nm) se používají materiály jako Si, Ge, GaAs, InGaAs. Pro vyšší vlnové délky 1310nm, 1550nm se používají Ge, GaAs, InGaAs, InGaAs [7].

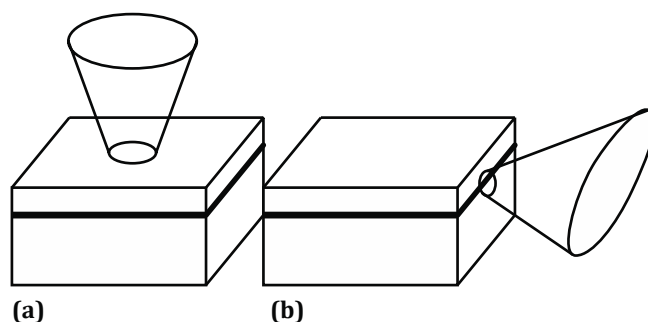
3.4. Optické čočky

K úpravě laserového spoje se používají ploskovypuklé (plankonvexní) čočky, případně achromatické dvojice čoček, která zabraňují chromatickým vadám čočky viz. obr. 3.5.



Obr. 3.5: Ploskovypuklá čočka a achromatická dvojice čoček

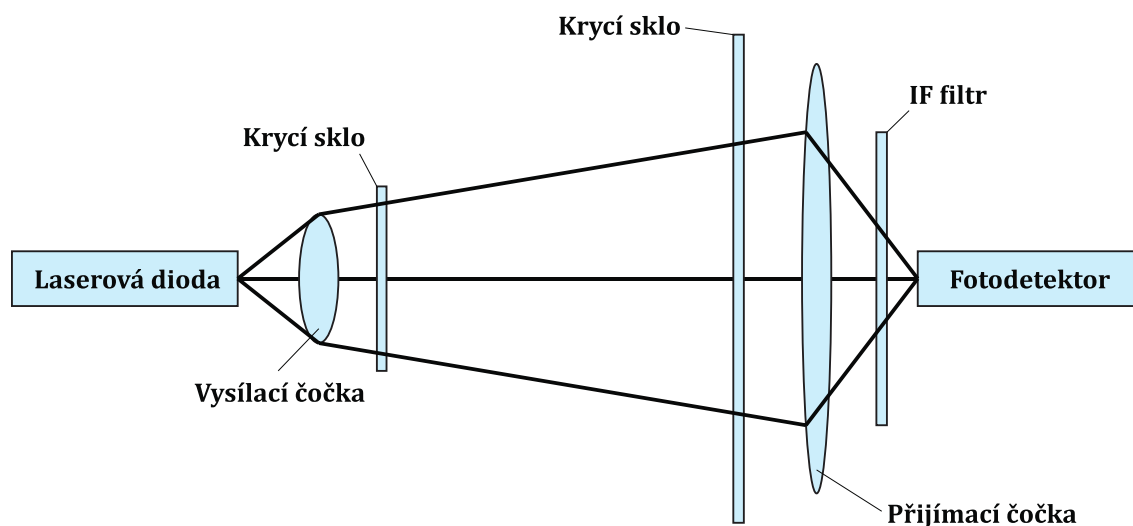
Vysílací čočky jsou ozářeny přímo laserovou diodou, případně mohou být ozářeny světlem z optického vlákna. Vysílací laserové diody vyzařují kruhové (obr. 3.6a) nebo eliptické záření (obr. 3.6b). Gaussův paprsek vycházející z laserové diody je deformován zakulacením čočky a ohybem na dříku čočky.



Obr. 3.6: Laserová dioda s kruhovým (a) nebo eliptickým (b) vyzařováním

Jako přijímací čočky se používají většinou Fresnelovy čočky pro jejich výhodnost z hlediska prostoru a hmotnosti.

Celý systém můžeme vidět na obr. 3.7. Laserová dioda (LD) vyzařuje světelný paprsek do vysílací čočky. Od té poté prochází svazek krycím sklem, které je nutné k ochraně proti vnějším vlivům. Poté prostupuje prostředím až k druhéhlavici, kde opět přes krycí sklo dopadá na přijímací Fresnelovu čočku. Často se také používá interferenční filtr, který propouští pouze používané vlnové délky.



Obr. 3.7: Zjednodušené schéma přenosu optického signálu přes optikuhlavici

4. Laserový svazek

4.1. Gaussův svazek

Gaussův svazek je pro nás ze základních druhů svazků nejdůležitější, protože právě tento druh svazku vystupuje z laserové diody nejčastěji. Rozložení intenzity je Gaussovského svazku v příčné rovině odpovídá kruhově symetrické Gaussově funkci, kde optická osa také osou symetrie. Výkon Gaussova svazku je soustředěn do úzkého kužele. Šířka svazku je minimální v tzv. krčku a dále se zvětšuje na obě strany. Poloměr Gaussova svazku $w(z)$ lze vypočítat pomocí vztahu

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_0}\right)^2}, \quad (3)$$

kde w_0 je pološířka svazku v jeho nejužším místě, z je souřadnice optické osy, z_0 je tzv. Rayleighova vzdálenost. Ta lze popsat jako vzdálenost podélného směru šíření vlny od krčku po bod, kde je příčná plocha průřezu dvojnásobná. Platí, že

$$z_0 = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}, \quad (4)$$

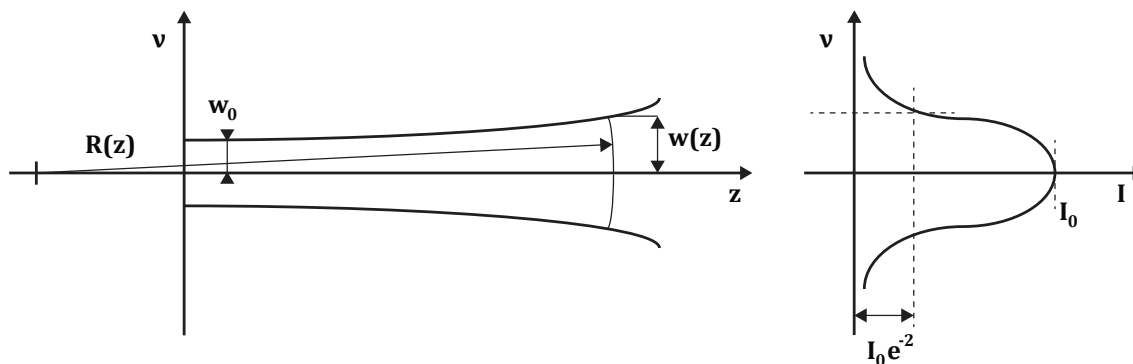
kde λ je vlnová délka záření.

Úhel divergence θ lze vyjádřit pomocí vztahu

$$\theta = \frac{\lambda}{\pi w_0} \quad (5)$$

Pro poloměr křivosti Gaussova svazku $R(z)$ platí, že

$$R(z) = z \left[1 + \left(\frac{z_0}{z}\right)^2 \right], \quad (6)$$



Obr. 4.1: Profil Gaussova svazku

4.1.1 Optická intenzita Gaussova svazku

Intenzita optického záření je funkcí axiální (jdoucí ve směru osy) vzdálenosti z a radiální (jdoucí ve směru poloměru) vzdálenosti ρ . Radiální vzdálenost lze vyjádřit jako

$$\rho = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad (7)$$

pak intenzita Gaussova svazku

$$I(\rho, z) = I_0 \left(\frac{w_0}{w(z)} \right)^2 \cdot \exp \left(-\frac{2\rho^2}{w^2(z)} \right), \quad (8)$$

Intenzita Gaussova svazku je největší ve středu svazku (axiální vzdálenost z a radiální vzdálenost ρ je rovna 0). Poloměr Gaussova svazku $w(z)$ s rostoucí axiální vzdáleností z vzrůstá. Intenzita Gaussova svazku se snižuje s rostoucí axiální vzdáleností z . [2]

4.1.2 Optický výkon Gaussova svazku

Celkový výkon přenesený svazkem je určen integrálem ze součinu intenzity záření a plochy příčného průřezu optického svazku

$$P = \int_0^\infty I(\rho, z) 2\pi\rho \, d\rho \quad (9)$$

z čehož dále odvodíme

$$P = \frac{1}{2} I_0 (\pi W_0^2). \quad (10)$$

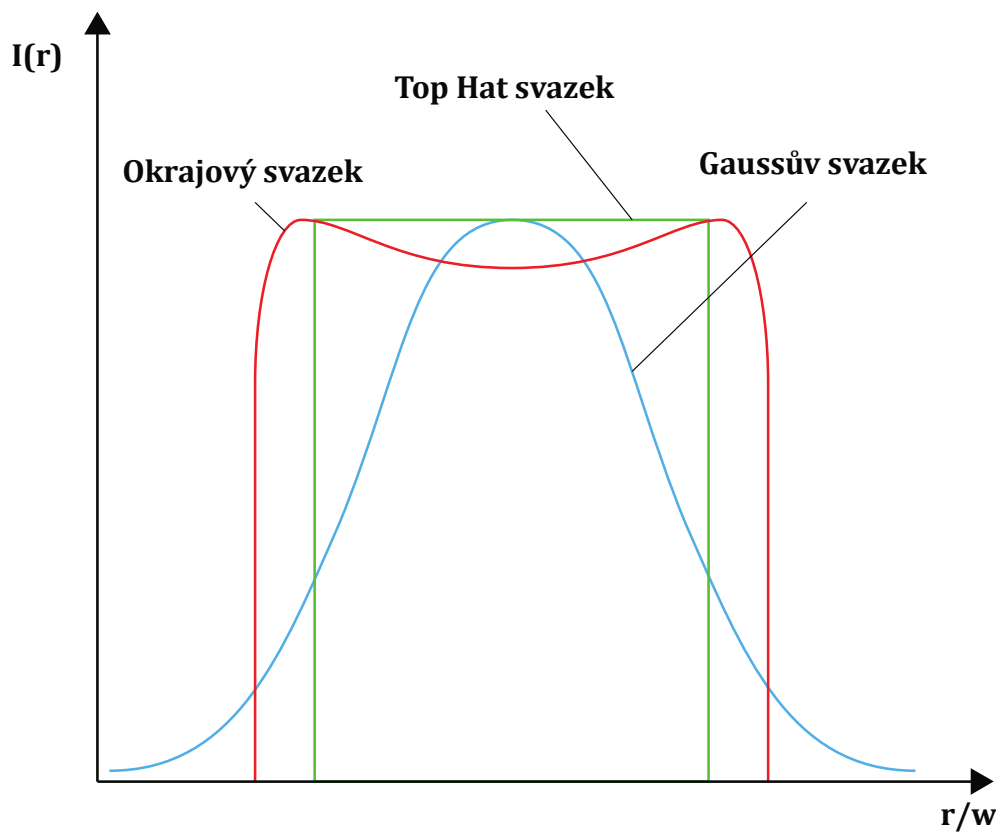
Výkon svazku je tedy dán jako součin poloviny maximální intenzity a plochy kruhu o poloměru rovnající se středovému poloměru svazku. [3]

4.2. Top hat svazek

Dalším z používaných rozložení svazku je tzv. Top hat svazek. Ten se vyznačuje tím, že jeho průběh je téměř uniformní – jeho intenzita se nemění se zvětšující se radiální vzdáleností ρ . Tento svazek se dá zjednodušeně popsat tvarem cylindru (anglický výraz pro cylindr „Top hat“). Vzhledem k tomu, že má svazek „tupější“ profil než Gaussův svazek, dochází k menším fluktuacím, avšak svazek má nevýhodu ve větším rozložení hustoty optického výkonu oproti Gaussovu svazku.

4.3.Okrajový svazek

Dalším typem svazku používaným v optoelektronice je tzv. „okrajový svazek“. Ten se vyznačuje tím, že soustředí svou intenzitu na okraj vlny. Svým profilem redukuje sférickou (kulovou) vadu a umožňují fokusaci svazku do jednoho bodu. [2]

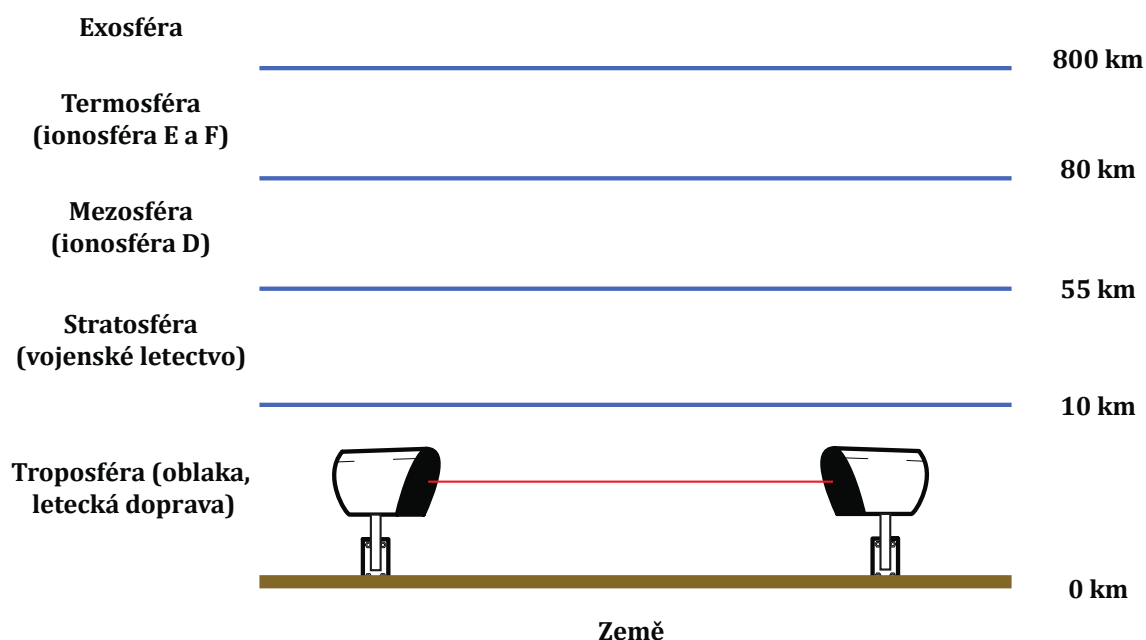


Obr. 4.2: Ekvivalentní Gaussův, Top hat a okrajový svazek

5. Přenosové prostředí

Optické bezvláknové systémy lze provozovat v uzavřených místnostech, ale jsou používány zejména v atmosférickém přenosovém prostředí (APP). To je úzce spojeno s pravděpodobně největší nevýhodou OBS. V nepříznivých podmínkách může být totiž přenos dat obtížný, až nemožný. Jestliže se bavíme o OBS v oblastech mezi budovami, pohybujeme se v oblasti troposféry. Ta zasahuje do výšky okolo 10km n.m., avšak tato výška závisí na mnoha dalších vlivech (roční období, aktuální počasí apod.).

Pro tuto oblast je charakteristické, že vodní pára zde podléhá kondenzaci, vzniká mnoho různých vlivů ovlivňující kvalitu spoje jako déšť, sněžení, větrné víry a především mlhy. Také je nutné přihlídnout k výskytu ptactva v dané lokalitě. Tato oblast je obecně nestacionárním a nehomogenním prostředím (předpokládá se, že je prostředím dielektrickým, lineárním, nedisperzním, izotropním) a vliv tohoto prostředí na kvalitu přenosového kanálu má náhodný charakter [4].



Obr. 5.1: Složení atmosféry

Základními veličinami modelující vliv atmosférického prostředí na optický svazek jsou [2]:

- index lomu prostředí n [-]
- strukturní parametr indexu lomu C_n^2 [$\text{m}^{-2/3}$]
- koeficient útlumu $\alpha_{l,atm}$ [dB/km]

Index lomu světla je jednou ze základních veličin popisující šíření světla v látkách. Vztahuje se přímo k danému prostředí. Množství změn probíhajících v atmosférickém přenosovém prostředí mají za následek změny indexu lomu. Lokální teplota a tlak se mění a tedy i index lomu je náhodnou funkcí prostoru a času. Procházející optický svazek je těmito náhodnými změnami ovlivňován a dochází tak k tvarovým a energetickým změnám svazku. Mezi hlavní jevy ovlivňující přenos optického signálu atmosférickým prostředím patří [3]:

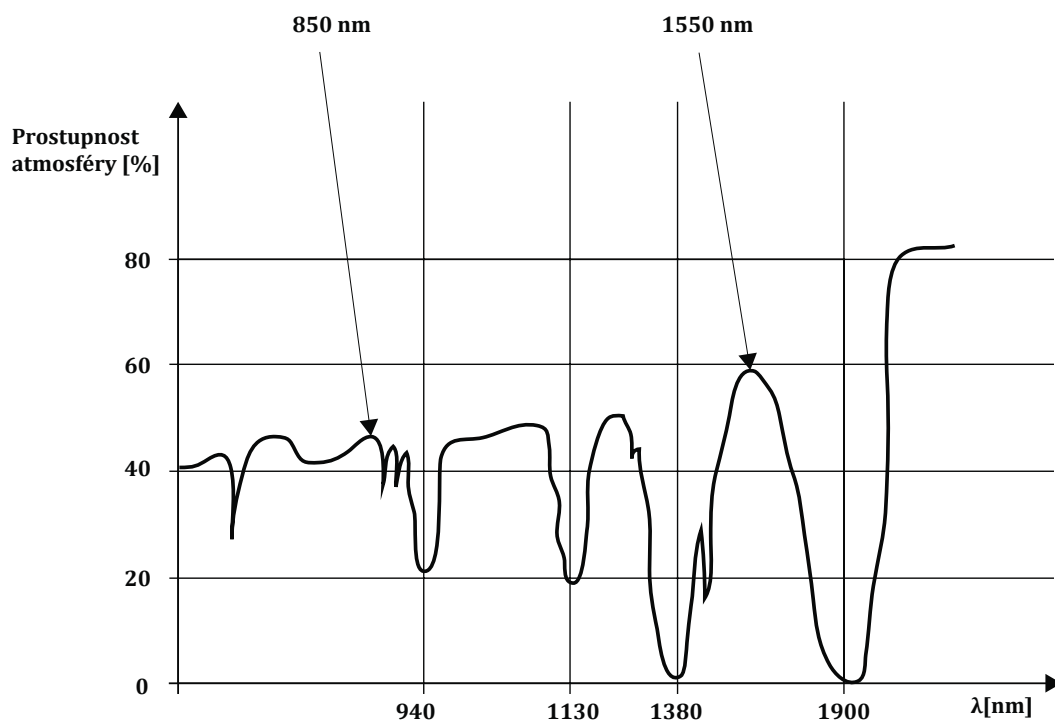
- Extinkce optické intenzity vlivem turbulencí v atmosférickém prostředí
- Extinkce vlivem rozptylu a absorpce na molekulách a aerosolech
- Fluktuace optické intenzity vlivem turbulencí v atmosférickém prostředí
- Fluktuace optické intenzity vlivem mlhy, deště, sněhu apod.
- Krátkodobé přerušení svazku přeletem ptáků

Tyto jevy se dají dále rozdělit podle vlivu, kterým vznikají (např. vlivem turbulencí v atmosférickém prostředí, působení deště a sněhu, nebo vlivem rozptylu a absorpce na molekulách a aerosolech). Jevy se navzájem ovlivňují a působí vždy společně. Fluktuace optické intenzity současně vyvolávají i extinkce [3].

Střední koeficient extinkce lze vypočítat jako součet jednotlivých koeficientů extinkce [3]:

$$\alpha_e = \alpha_{abs} + \alpha_{s,m} + \alpha_{s,p} + \alpha_{fluct} \quad [\text{dB}; \text{dB}, \text{dB}, \text{dB}, \text{dB}], \quad (11)$$

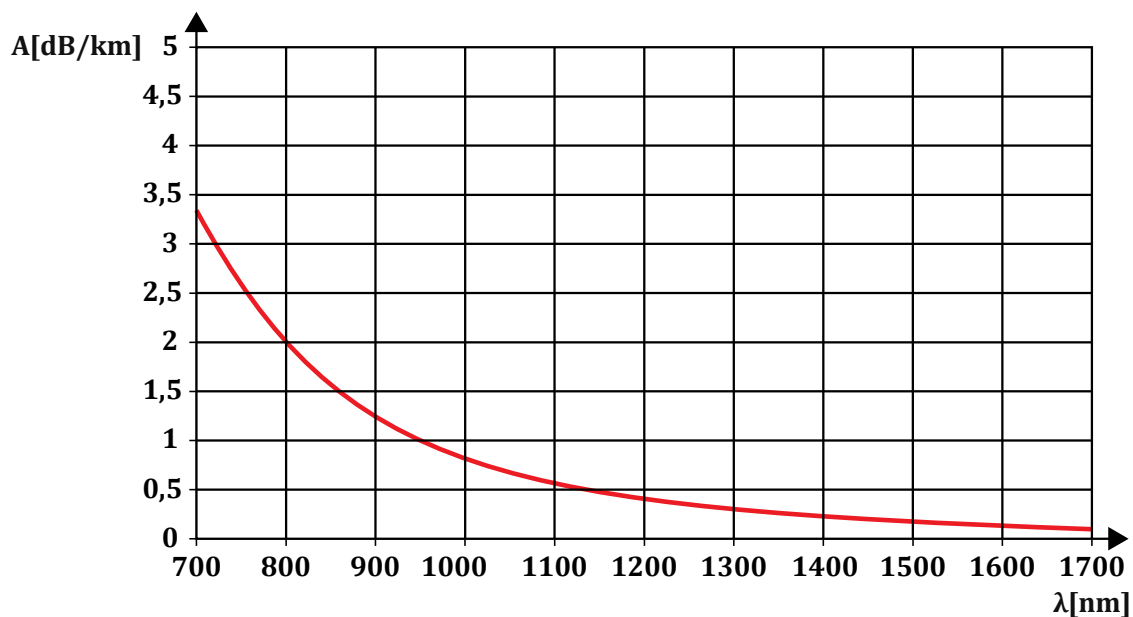
kde α_e je celkový koeficient absorpce na molekulách, α_{abs} je koeficient rozptylu na molekulách, $\alpha_{s,m}$ je koeficient rozptylu - Rayleighův rozptyl, $\alpha_{s,p}$ je koeficient rozptylu - Mieův rozptyl a α_{fluct} je koeficient poklesu intenzity vlivem fluktuací.



Obr. 5.2: Spektrální závislost propustnosti atmosféry v jasném a klidném prostředí

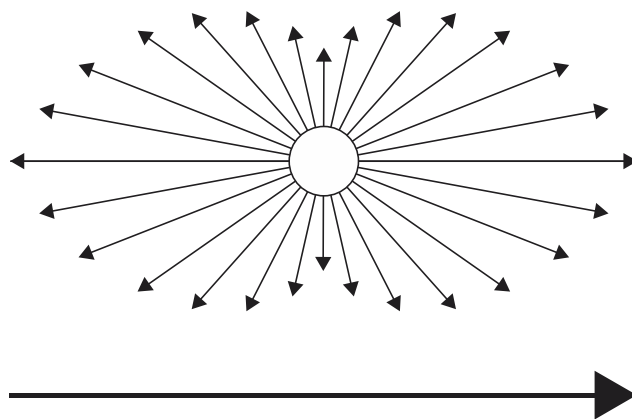
5.1. Rayleighův rozptyl

Rozptyl může výrazně ovlivnit přenos atmosférickým prostředím. Rozptylem nepovažujeme přímo ztrátu energie při pohlcení světla, ale spíše změnu směru světla, či jeho přerozdělení.



Obr. 5.3: Spektrální charakteristika Rayleighova rozptylu [11]

Rayleighův rozptyl je rozptyl na molekulách plynu a jiných částicích, které jsou menší než vlnová délka. Je spektrálně závislý, to znamená jeho závislost na vlnové délce. Rayleighův rozptyl je všesměrový, jak je patrné z obr. 5.4 [5].



Obr. 5.4: Směrnost Rayleighova rozptylu

Rayleighův rozptyl se dá vypočítat podle vzorce [5]:

$$I_{\theta} = I_0 \cdot \frac{\pi^2 \cdot \alpha^2}{2 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot \lambda^4} \cdot \frac{F(\theta)}{r^2} \quad (12)$$

kde I_{θ} je intenzita světla rozptýleného jednou částicí pod úhlem θ , I_0 je celková intenzita dopadajícího záření, ε_0 permitivita vakua ($8,85419 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ J}^{-1} \text{ m}^{-1}$), λ vlnová délka, r vzdálenost

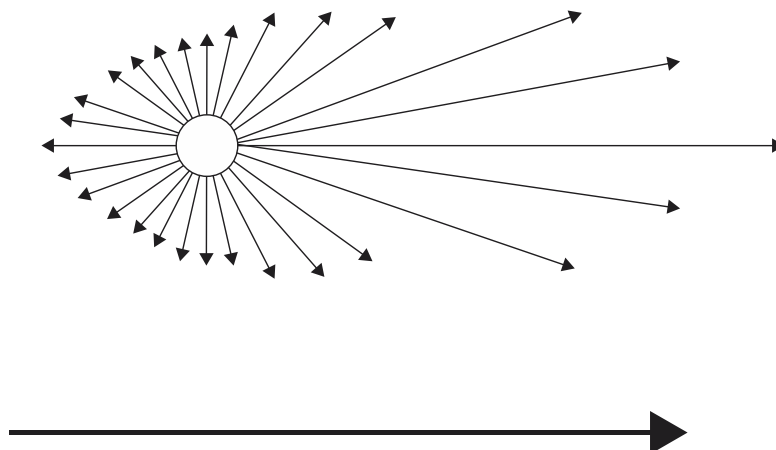
detektoru intenzity, θ úhel pozorování, $F(\theta)$ je funkce úhlu pozorování a α polarizovatelnost z Clausiovy-Mossottiovy rovnice, kterou můžeme vypočítat pomocí následujícího vzorce [5]:

$$\alpha = 3\varepsilon_0 \cdot \nu \cdot \frac{n_1^2 - n_0^2}{n_1^2 + 2n_0^2} \quad (13)$$

kde počítáme s indexy lomu disperzního prostředí n_1 a čistého prostředí n_0 a permitivitou vakua ε_0 ($8,85419 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ J}^{-1} \text{ m}^{-1}$).

5.2. Mieův rozptyl

Mieův rozptyl vzniká, když světlo dopadne na částici (kapka vody, sněhu apod.) stejně velkou nebo větší, než je vlnová délka. Je to silně proměnná složka extinkce, protože se atmosféra velmi často mění. Tento jev je spektrálně nezávislý, nezávisí tedy na vlnové délce. Mieův rozptyl je jevem směrovým, jak je vidět na obr. 5.5 [5].



Obr. 5.5: Směrovost Mieova rozptylu

5.3. Meteorologická viditelnost

Parametr meteorologická viditelnost (dohlednost) V_M nám definuje délku trasy, pro kterou dosahuje prostupnost $T = 0,05 = 5\%$ (starší definice byla 2%) pro vlnovou délku $\lambda = 550\text{nm}$. Koeficient extinkce α_e a meteorologická viditelnost V_M mají následující vztah [6][7]:

$$\alpha_e = \frac{3,91}{V_M}, \quad [\text{km}^{-1}; \text{km}]; \quad (14)$$

kdy tento vztah platí pro vlnovou délku $\lambda = 550\text{nm}$ (starší hodnotou bylo 555nm). Pro výpočet koeficientu extinkce pro různé vlnové délky platí obecný vztah [8]:

$$\alpha_e = \frac{3,91}{V_M} \cdot \left(\frac{\lambda}{550 \cdot 10^{-9}} \right)^{-q}, \quad [\text{km}^{-1}; \text{m, km, km}]; \quad (15)$$

kde V_M je meteorologická viditelnost, λ vlnová délka a parametr q můžeme zjistit v tabulce [8]:

Parametr q	Viditelnost V_M [km]	Stav atmosféry
0	$V_M < 0,5$	Silná mlha
$V_M - 0,5$	$0,5 < V_M < 1$	Střední mlha
$0,16 V_M + 0,34$	$1 < V_M < 6$	Opar
1,3	$6 < V_M < 50$	Čistá
1,6	$V_M > 50$	Velmi čistá

Tab. 5.1: Závislost parametru q na viditelnosti V_M

V tabulce 5.2 pak můžeme vidět jak se projevuje stav atmosféry na meteorologickou viditelnost V_M a koeficient extinkce α_e . Lze jasně vidět, že při velmi čisté atmosféře je viditelnost velmi vysoká a koeficient extinkce je nízký. Naopak při silné mlze, což je největší nepřítel optických bezvláknových spojů, je viditelnost velmi malá (pouze 60m) a koeficient extinkce velmi vysoký [7]:

Viditelnost V_M [km]	Koeficient extinkce α_e [km ⁻¹]	Stav atmosféry
méně než 0,06	více než 61,1	Silná mlha
1,3 – 0,06	3,07 – 61,1	Střední mlha
26 – 1,3	0,15 – 3,07	Opar
63 – 26	0,062 – 0,15	Čistá
více než 63	méně než 0,062	Velmi čistá

Tab. 5.2: Závislost parametru viditelnosti V_M na stavu atmosféry

5.4. Turbulence

Atmosférické turbulence ovlivňující svazek procházející přenosovým prostředím můžeme rozdělit do tří skupin:

- Dynamická turbulence
- Termická turbulence
- Mechanická turbulence

Dynamické turbulence vznikají v oblastech 5-6km a optické bezvláknové spoje tedy neovlivňují. Termické a mechanické turbulence se vyskytují v přízemních oblastech a OBS ovlivňují [8].

Během dne, kdy je povrch Země teplejší než okolní vzduch, je vzduch nejbližší Zemi teplejší než vzduch vzdálený dále od Země. To způsobuje stoupání těchto teplých mas vzduchu vzhůru, ale také ohyb světelného svazku směrem vzhůru. Jestliže je toto stoupání dostatečně velké, může způsobit jev známý jako „fata morgána“ (zrcadlení). V nočních hodinách je pak situace opačná a vzniká ohyb svazku směrem dolů. Kromě těchto jevů atmosférické turbulence narušují koherenci světelného svazku. Zkreslení svazku vyvolané turbulence má za následek

divergenci svazku, měnící se polohu středu svazku a přerozdělování energie paprsku po průřezu vedoucí k fluktuacím a scintilacím [9].

Vzhledem k teplotním výkyvům a kolísání rychlosti větru se tvoří lokální nestabilní masy vzduchu, které se rozdělují do neklidných vírů nebo vzduchových bublin různých rozměrů [9].

Pro výpočet útlumu způsobeným turbulence použijeme následující vzorec vycházející z Rytovy aproximace [10]:

$$\alpha_{turb} = 2 \cdot \sqrt{23,17 \cdot k^{7/6} \cdot C_n^2 \cdot L^{11/6}}, \quad (16)$$

kde k reprezentuje vlnové číslo, které je závislé na vlnové délce, C_n^2 je strukturní parametr indexu lomu a L je vzdálenost mezi hlavicemi. Výsledná hodnota α_{turb} představuje střední hodnotu útlumu způsobeného turbulence [10].

Pomocí metody dostupné energie můžeme vypočítat nejhorší útlum způsobený turbulence [10]:

$$\alpha_{ap} = 10 \cdot \log V_{ap,r}, \quad (17)$$

kde $V_{ap,r}$ představuje relativní množství dostupné energie, což je funkcí vlnové délky, strukturního parametru indexu lomu a vzdáleností mezi hlavicemi [10].

Strukturní parametr indexu lomu C_n^2 , použitý ve vzorcích pro výpočet útlumu způsobeného turbulence je mírou pro určení síly turbulence. Hodnoty tohoto parametru se pohybují od $10^{-14} m^{2/3}$ do $10^{-12} m^{2/3}$ v závislosti na síle turbulence, jak lze vidět v tab. 5.3.

Atmosférické turbulence ovlivňují OBS těmito jevy [8]:

- Fluktuace úhlu dopadu svazku
- Scintilaci – fluktuace optické intenzity
- Rozšíření (divergence) svazku
- Změny polohy středu svazku

Strukturní parametr indexu lomu $C_n^2 [m^{-2/3}]$	Síla turbulence
10^{-14}	Slabá
10^{-13}	Střední
10^{-12}	Silná

Tab. 5.3: Vliv turbulence na strukturní parametr indexu lomu

6. Realizace infrastruktury pro OBS

Montáž profesionálních optických hlavice prováděla autorizovaná firma. Součástí práce bylo zajištění infrastruktury nutné pro tuto montáž na budově rektorátu VŠB - TUO. To zahrnovalo přimontování rozvaděče RD na vnitřní stěnu budovy u schodiště, ze kterého již firma prováděla natažení kabelů k hlavici, umístěné na střeše budovy rektorátu. Do tohoto rozvaděče bylo nutné zajistit konektivitu, tedy umístit optický jednovláknový kabel, UTP kabel a zásuvky pro napájení hlavice.

Model	TS5000G
Napájení	230V AC
Kapacita	1 x 1,25Gbit/s
Výkon vysílačů	2 x 40mW, 1 x 60mW
Přijímaná úroveň	400
Vlnová délka	830 – 860nm
Rozbíhavost svazku	2 mrad
Vstupní úhel RX	5 mrad
Citlivost	- 33 dBm
Třída Laseru	1M
Azimut	107,26°
Elevace	- 0,47°
Rozhraní	1000Base-LX Gigabit Eth.

Tab. 6.1: Specifikace použité laserové hlavice

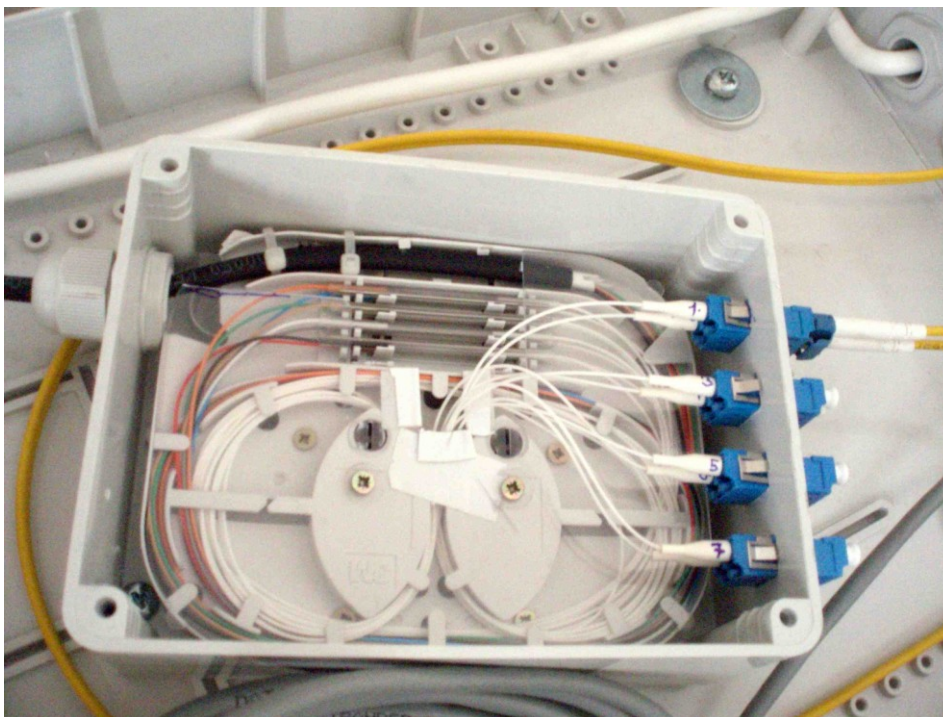


Obr. 6.1: Použitá optická bezvláknová hlavice MRV TS5000G

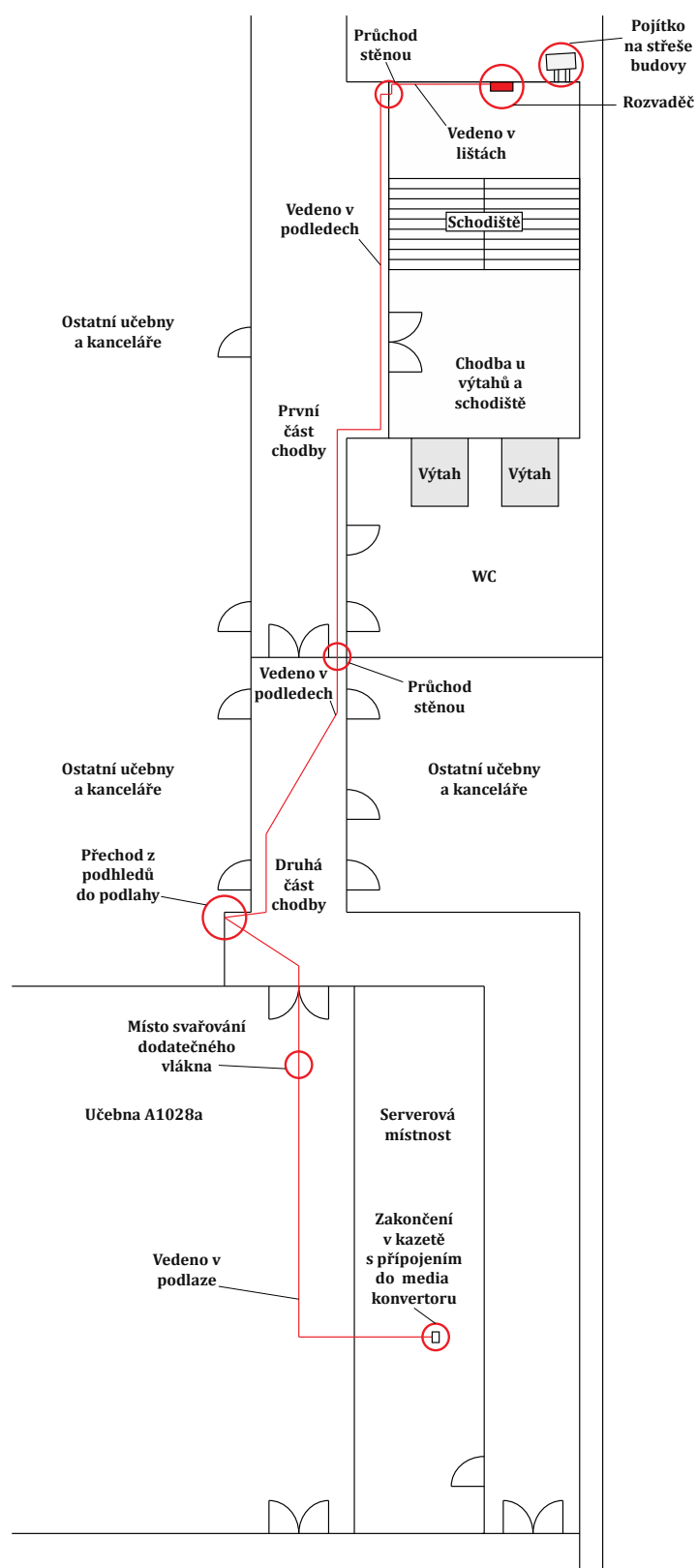
6.1. Vedení kabelů

Napájecí kabel CYSY 3 x 0,75mm je veden souběžně v první liště spolu s optickým a UTP kabelem z rozvaděče u schodiště. Napájecí kabel je poté protáhnut zdí do kanceláře a zde připojen do stávající sítě. Optický jednovidový kabel FO 8 x 9/125μm je spolu s dvojicí UTP cat. 5e kabelů veden dále z prostoru schodiště v lištách a protáhnut zdí na chodbu do podhledů. Kabely jsou v první části chodby vedeny u zdi na vodorovných podhledech spolu s již zavedenými kabely. Uprostřed chodby se nachází rozdělení chodby dveřmi, kde bylo nutné kabel protáhnout již vytvořenými dírami, kterých využívala stávající zavedená kabeláž. Dále je kabel tažen zhruba do půlky chodby opět podél zdi, kde uhlopříčně přechází na stranu ke druhé zdi. Zde dále pokračuje až k místu, z kterého je tažen lištami po stěně do podlahy. Pod podlahovou krytinou je tažen do učebny. Celý popis vedení kabelů je přehledně zobrazen na obr. 6.3.

Došlo ke změnám v původně zamýšleném projektu (vedení kabelů a umístění místa pro konektivitu), kde bylo počítáno s kratším optickým kabelem (cca 50m). Celková trasa avšak měřila okolo 65m, bylo tedy nutné v místnosti učebny optický kabel nadstavit navařením dalšího kusu optického jednovidového kabelu, typu G.657A3. Tento kabel pak dále pokračoval podlahou až do serverové místnosti, kde bylo nutné navařit na konce kabelu „Pig-taily“ a připojit k media konvertoru, který je zapojen do stávající sítě školy. Útlum svárů se po navaření pohyboval okolo od 0,00 do 0,02 dB. Tyto hodnoty jsou však získány přímo ze svářečky, jsou tedy pouze informativní.



Obr. 6.2: Zakončení optického kabelu v rozvaděči



Obr. 6.3: Půdorys 10.patru rektorátu VŠB – vedení kabelů



Obr. 6.4: Mapa s body realizovaného optického bezvláknového spoje

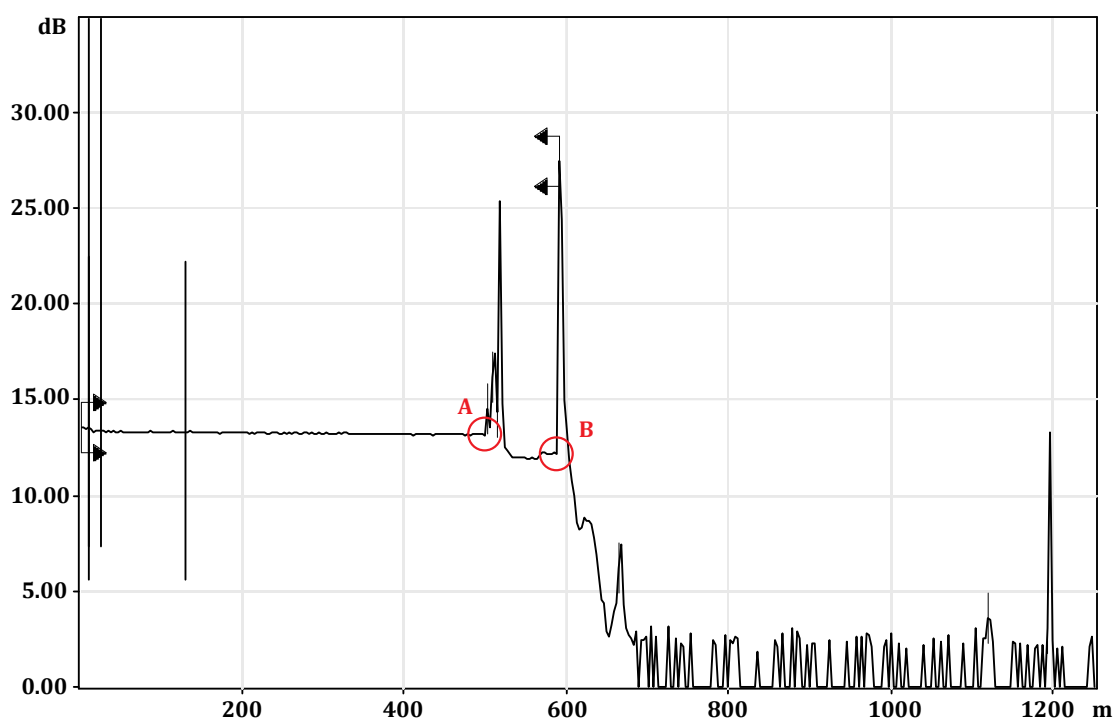
Jako optický kabel byl použit jednovidový kabel G.652D FO 9/125 μ m s 8mi vlákny. Samotný nainstalovaný OBS však využívá pouze dvě vlákna, ostatní jsou tedy pro případné další projekty. Celý postup je zdokumentovaný na fotografiích, umístěných na konci práce příloze A a také v této kapitole na obr. 6.3.

Autorizovaná firma zajistila připevnění a nasměrování optických hlavic na střechu budovy A, ale také na opačný bod optického bezvláknového spoje – Hvězdárnu. Délka trasy činí 1,47 km (viz. obr. 6.4).

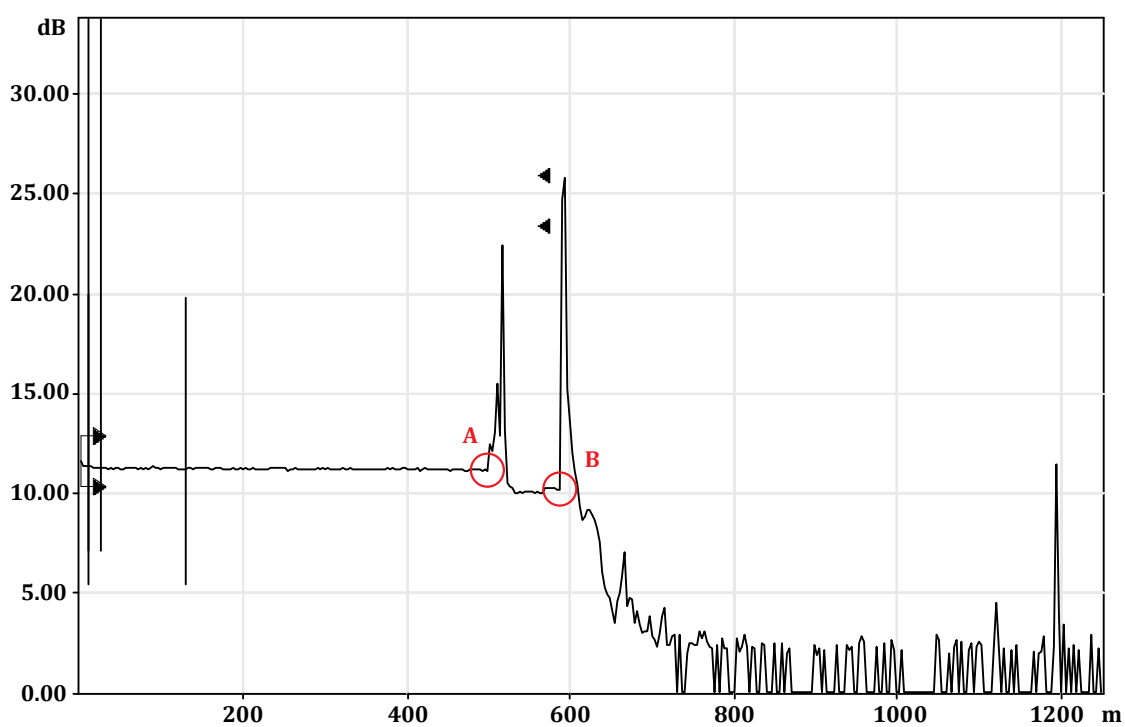
6.2. Náměr trasy pomocí OTDR

Po natažení kabelů byl proveden náměr trasy pomocí optického reflektometru OTDR, měřicího zařízení EXFO FTB-400. Proměřeno bylo všech 8 vláken optického kabelu od rozvaděče do serverové místnosti s pulsem 0,5 mpro vlnové délky 1310 a 1550 nm. Navíc byl zvlášť proveden náměr dvou používaných optických vláken od hlavice. Ten byl proměřen s pulsem 0,5 a 1 m, a také pro vlnové délky 1310 a 1550 nm (obr. 6.5, 6.6, 6.7, 6.8). Z důvodu mrtvé zóny OTDR měřicího zařízení bylo použito předřadné vlákno s délkou 500 m, které omezuje vliv prvního Fresnelova odrazu na konektoru měřicího zařízení tak, aby nedocházelo k oslepení detektoru přístroje. Na níže uvedených náměrech jsou vyznačeny místa, odkud měřená trasa začíná – A a kde končí – B. Další náměry pro všech 8 vedených vláken byly provedeny od rozvaděče umístěného nad schodištěm do serverové místnosti, kde trasa končí. Tyto náměry jsou uvedeny v přílohách.

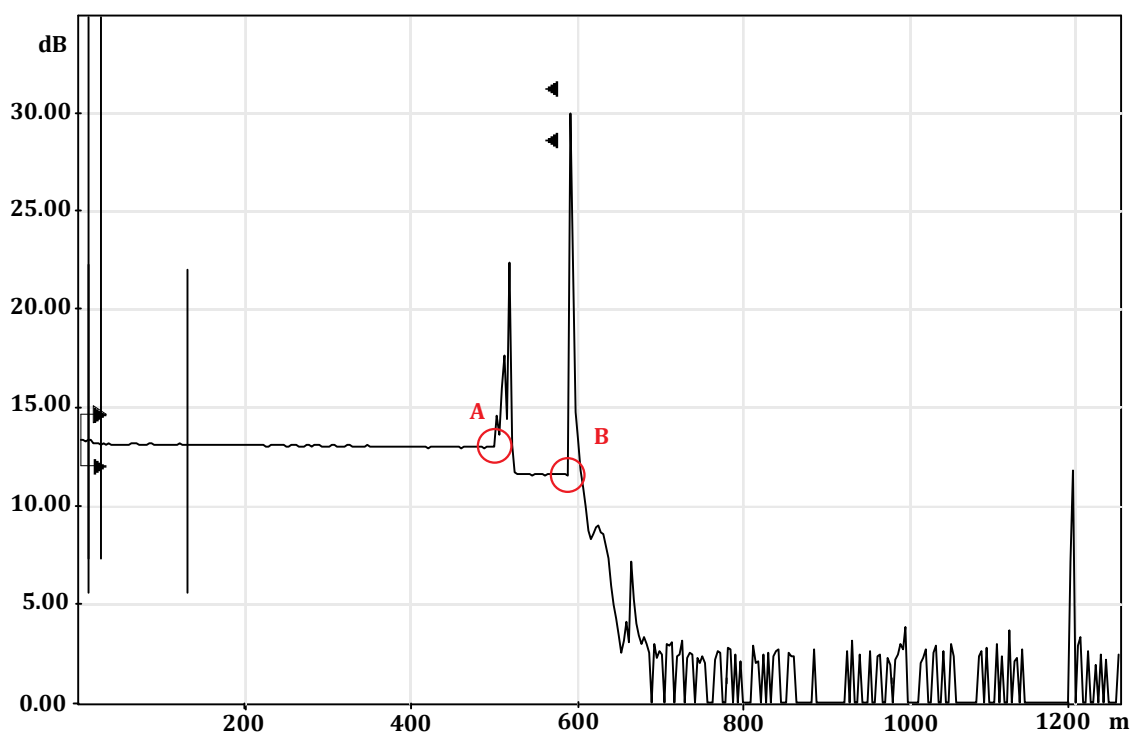
Na vlákne A je pozorovatelná chyba, která je způsobena zřejmě ohybem kabelu při tažení. Kompletní náměry pro trasu jsou uvedeny v přílohách včetně naměřených parametrů.



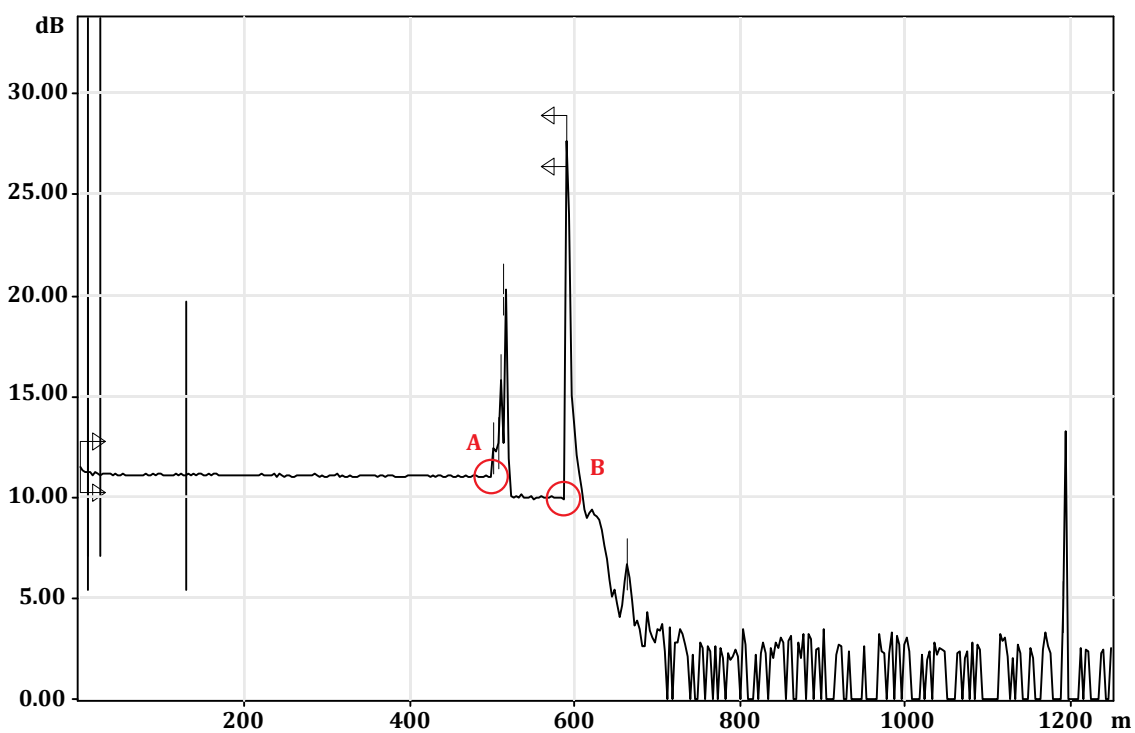
Obr. 6.5: Náměr trasy pomocí OTDR – vlákno A (puls: 0,5 m; $\lambda=1310$ nm)



Obr. 6.6: Náměr trasy pomocí OTDR – vlákno A (puls: 0,5 m; $\lambda=1550$ nm)



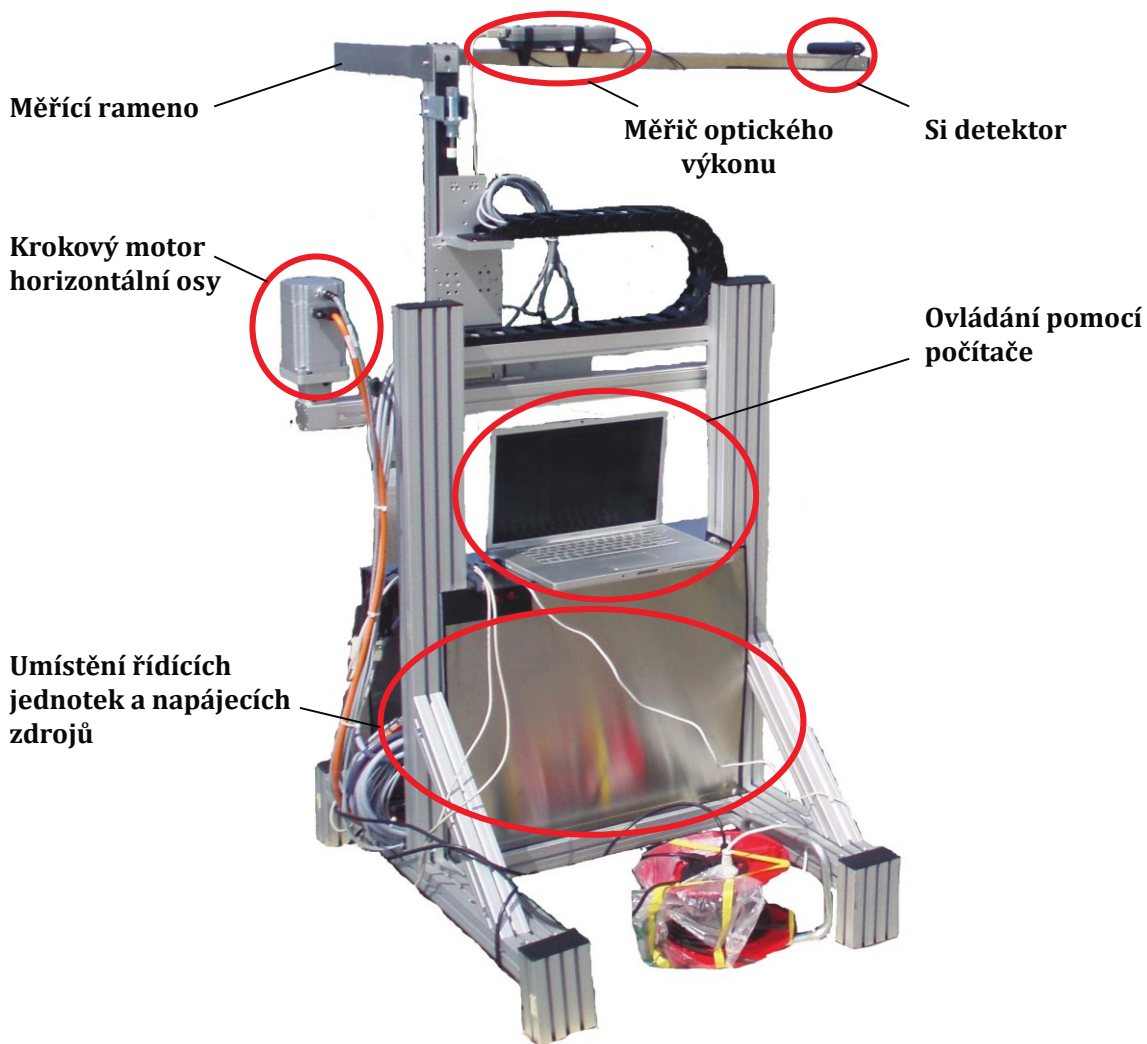
Obr. 6.7: Náměr trasy pomocí OTDR – vlákno B (puls: 0,5 m; $\lambda=1310$ nm)



Obr. 6.8: Náměr trasy pomocí OTDR – vlákno B (puls: 0,5 m; $\lambda=1550$ nm)

7. Měření optického výkonu po průřezu svazku

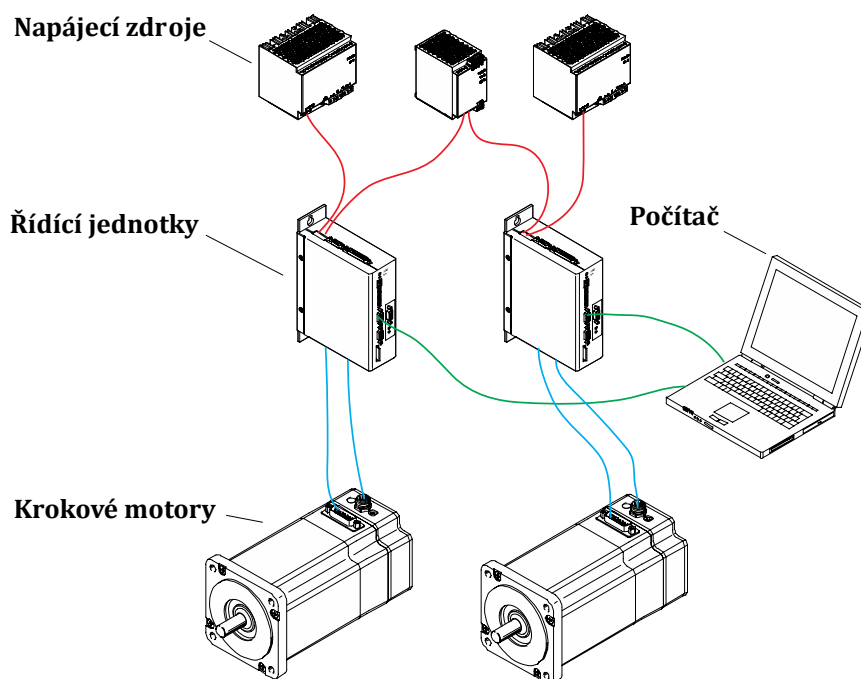
Pro měření průřezu optického svazku bylo nutné sestavit měřicí zařízení. Tento bod byl také stěžejním bodem celé práce. Základ měřicího zařízení byl vypůjčen z VUT Brno. Jedná se o zařízení vyrobené firmou Festo se pro pohyb v osách s krokovými motory pro pohyb po těchto osách. Zařízení bylo v době dovezení nefunkční a bylo nutné provést řadu kroků pro jeho zprovoznění a použití pro měření.



Obr. 7.1: Sestava měřicího zařízení

7.1. Zapojení prvků měřicího zařízení

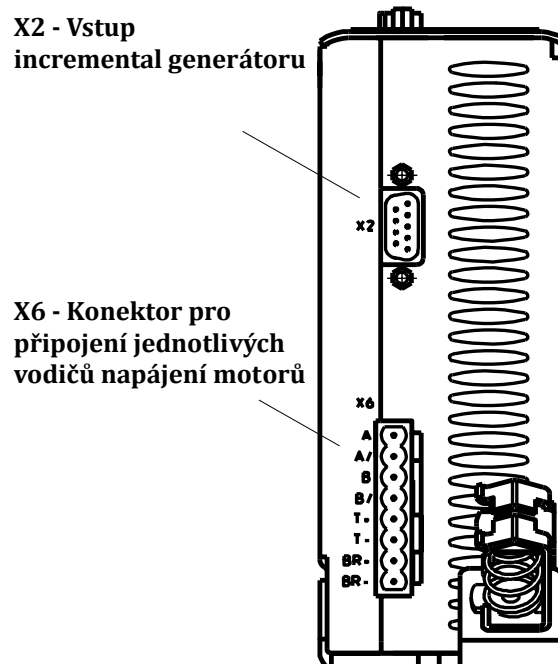
Pro základní funkčnost zařízení bylo nutné zajistit napájení řídicích jednotek. To zajišťuje trojice napájecích zdrojů – dva výkonové 24VDC/10A k zajištění dostatečného napájení pro motory a jeden 24VDC/2A pro řídicí část. Každý z výkonových zdrojů je připojen k jedné z řídicích jednotek, která napájení dále distribuuje k motorům. Pro řízení je vyčleněn zvláštní zdroj, ten napájí obě řídicí části jednotek zároveň, jak lze vidět na obr. 7.2.



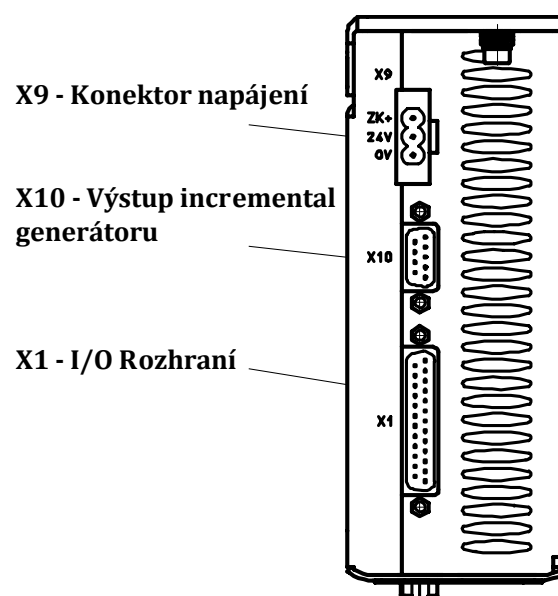
Obr. 7.2: Základní zapojení soustavy měřícího zařízení

K řízení motorů je použito řídících jednotek firmy Festo s označením CMMS-ST-C8-7-G2. Tyto jednotky umožňují ovládání počítačem či PLC přes zabudované porty RS-232 nebo CanOpen. Dalšími možnostmi je rozšíření jednotek o port DeviceNet nebo PROFIBUS-DP pomocí rozšiřitelných karet. Standardním způsobem využití portů je použití CanOpen pro přímé ovládání stroje a portu RS-232 pro kontrolu všech důležitých ukazatelů činnosti zařízení. Firma Festo nedoporučuje použití RS-232 pro přímé ovládání, ačkoliv to jednotky umožňují, z důvodů omezení kontroly běhu zařízení. V této práci však bylo využito tohoto portu pro ovládání z důvodů žádné nutnosti kontroly zařízení při běhu vzdáleně a také z důvodů finančních – karty CanOpen do PCI jsou velmi nákladné a poměrně těžko dostupné.

V další části práce bylo nutné propojit motory s řídícími jednotkami. To se provádělo pomocí speciálních kabelů dodaných firmou Festo. Konektor X2 byl určen pro připojení k enkodéru motoru přímým kabelem s konektory. Na konektor X6 bylo nutné připojovat jednotlivé vodiče napájení motoru podle dokumentace.



Obr. 7.3: Spodní část řídicí jednotky s konektory pro připojení k motoru



Obr. 7.4: Vrchní část řídicí jednotky s konektory

7.2. Testování funkčnosti zařízení

K připojení k počítači je nutný křížený sériový kabel RS-232. Po připojení k počítači a instalaci aplikace Festo Configuration Tool (obr. 7.8) je možné provést spojení s počítačem. V této aplikaci je možné nastavit téměř všechny potřebné parametry, avšak ještě není možné zařízení ovládat. Abychom mohli zařízení ovládat, je nutné nastavit několik pinů na portu X1 do logické 1 (24VDC), konkrétně je jsou to piny DIN13 (STOP pohybu, pro pohyb nutná logická 1) a DIN4 (uvolnění silové části regulátoru). Pinem, který je nutno aktivovat jako poslední je DIN5, což je uvolnění HW jednotky. V práci je tento problém vyřešen tak, že se všechny piny aktivují již při zapnutí, vyjma pinu DIN5, pro který je v zadní části krytu zařízení vyhrazen spínač. Po zapojení zařízení do sítě a sepnutí obou spínačů (pro každou jednotku jeden), je zařízení připraveno přijímat příkazy.

Nyní je možné v aplikaci Festo Configuration Tool otestovat funkci celého zařízení, pohyb, rychlost a je také možné naprogramovat tabulku pozic (až 63 pozic), které bude zařízení vykonávat. Vzhledem k tomu, že při pojezdu osy je nutné snímat hodnotu z měřiče optické intenzity, je řešení pomocí dodané aplikace nedostatečné.

7.3. Komunikace se zařízením Festo přes sériovou linku

Komunikace přes sériovou linku probíhá pomocí příkazů, které se dělí na dva typy. Příkazy začínající znakem „?“ jsou tázací, pomocí nich se získávají informace, v jakém stavu se zařízení právě nachází. Příkaz začínající znakem „=“, je příkazem pro změnu určitého parametru, či například uvedení zařízení v činnost.

Například po zadání příkazu `?604100`, což je dle dokumentace příkaz statuswords, nám zařízení vrátí odpověď ve tvaru `=604100:XXXX`. Namísto `XXXX` budou číselné hodnoty, ze kterých můžeme vyčíst, zda se zařízení právě pohybuje, jestli byl dosažen cíl, zda je celkově v pořádku apod. Tímto i dalšími příkazy tedy můžeme zjišťovat aktuální stav zařízení. V této aplikaci však příkazy tohoto typu nebyly využity, protože pro potřeby měřicího zařízení nejsou potřeba.

Druhým typem příkazů je příkaz začínající symbolem „=“. Tímto typem příkazu nastavujeme určitý parametr. V první části příkazu určujeme, co nastavujeme (např. pozice cíle má příkaz `607A00`), v druhé části za „:“ pak hodnotu, kterou požadujeme. Pro nastavení pozice cíle na 2000 jednotek tedy použijeme příkaz:

- nastavení pozice na 2000 jednotek: `=607A00:000007D0`

Základní nastavením jednotlivých os je tzv. position factor. Ten řídící jednotce říká, jak má přepočítávat zadané hodnoty vzdálenosti. Je složen z čitatele a jmenovatele a musí být přesně vypočítán, aby zařízení vykonávalo přesný krok. V práci bylo zvoleno, že hodnoty budou zadávány v 0,1mm. Po zadání příkazu o ujetí 10 jednotek se tedy osa posune o 1mm. Vzhledem k tomu, že se použité osy nejsou stejné a výpočet je pro každý použitý motor jiný, bylo tento parametr nutno nastavovat pro oba motory zvlášť. Pro výpočet position factoru pro danou osu je nutné znát tzv. feed constant. Pro osu X, kde byla použita osa s označení DGE-25 je feed constant = 90mm/otáčka. Dále je pro výpočet nutno použít vzorec:

$$position\ factor = \frac{gear\ ratio \cdot encoder}{feed\ cons} = \frac{1 \cdot 65536}{900} = \frac{16384}{225}. \quad (18)$$

Po přepočtu čitatele a jmenovatele do hexadecimální soustavy, máme vytvořeny dva příkazy pro nastavení positon factoru pro první osu:

- nastavení čitatele: *=609301:00004000*
- nastavení jmenovatele: *=609302:000000E1*

Stejným způsobem se provádí výpočet i pro osu Y s označením DGEA-18, kde je feed constant = 81 mm/otáčka. Pro druhou osu je tedy nastavení position factoru následující:

- nastavení čitatele: *=609301:00008000*
- nastavení jmenovatele: *=609302:00000195*

Velmi důležitým je sled příkazů, který nám zařízení uvede do výchozí polohy, tzv. Homing. Pro uvedení zařízení do výchozí polohy používáme následující příkazy:

- aktivace jednotky *=651010:0002*
- vypnutí všech řídicích částí *=604000:0006*
- zapnutí, operace nepovoleny *=604000:0007*
- operace povoleny *=604000:000F*
- výběr homing metody *=606000:06*
- spuštění metody *=604000:001F*
- uvedení zpět do režimu "Ready" *=604000:000F*

Nyní můžeme přejít k samotnému posunu os (pozicování). Zde je možné použít buďto přejíždění na absolutní pozici, nebo na pozici relativní:

- přepnutí do "Positon_mode" *=606000:01*
- hodnota cíle (pozice) *=607A00:000007D0*
- přejezd na absolutní pozici *=604000:001F*
- přejezd na relativní pozici *=604000:005F*
- uvedení zpět do režimu "Ready" *=604000:000F*

7.4. Komunikace s měřičem optického výkonu

Ke snímání hodnoty přijímaného optického výkonu bylo použito měřícího zařízení ThorLabs PM 120 (obr. 7.5). Toto měřící zařízení umožňuje sejmутí měření optického výkonu přes sériovou linku v reálném čase. Zároveň umožňuje přímou kontrolu na přehledném podsvíceném displeji. Jako měřící senzor byl použit křemíkový detektor S120B s měřícím rozsahem 50 nW až 50 mW, pracující na λ od 400nm do 1100nm.



Obr. 7.5: Měřič optického výkonu PM 120

Komunikace se zařízením přes sériovou linku je velmi jednoduchá, po vytvoření spojení již lze zadávat příkazy. V této aplikaci bylo nutno použít pouze dva příkazy, a to pro nastavení vlnové délky a pro naměření hodnoty výkonu. Nastavení vlnové délky je možné provést přímo manuálně na zařízení, avšak pro jednoduchost inicializace byla tato možnost zakomponována do ovládacího programu. Toto nastavení provádíme příkazem:

`:WAVELENGTH XXXX`

- kde místo `XXXX` dosadíme požadovanou λ v metrech.

Pro získání hodnoty přijímaného výkonu používáme příkaz:

`:POWER?`

- po zadání toho příkazu, nám měřící zařízení vrátí naměřenou hodnotu výkonu ve wattech.

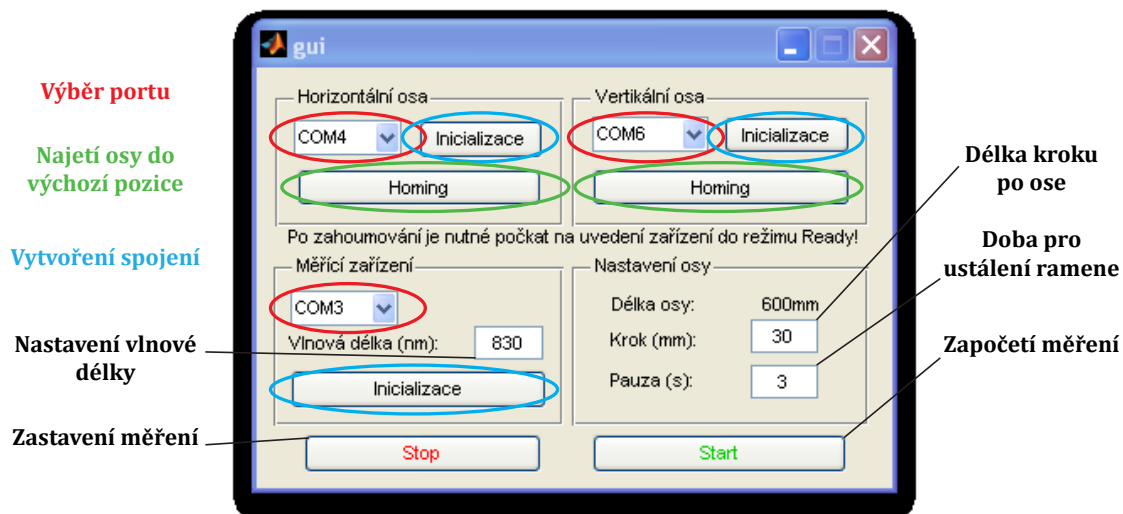
7.5. Aplikace pro měření

Pro samotné měření byla vytvořena aplikace pomocí programu MATLAB R2009a. V této aplikaci je možné nastavit všechny důležité parametry, které jsou nezbytně nutné pro správné měření a poté spustění samotného měření.

V horní části rozhraní je nastavení horizontální a vertikální osy zařízení, tedy pohyblivých částí. Po výběru použitých portů na sériové lince je možné spustit inicializaci, což

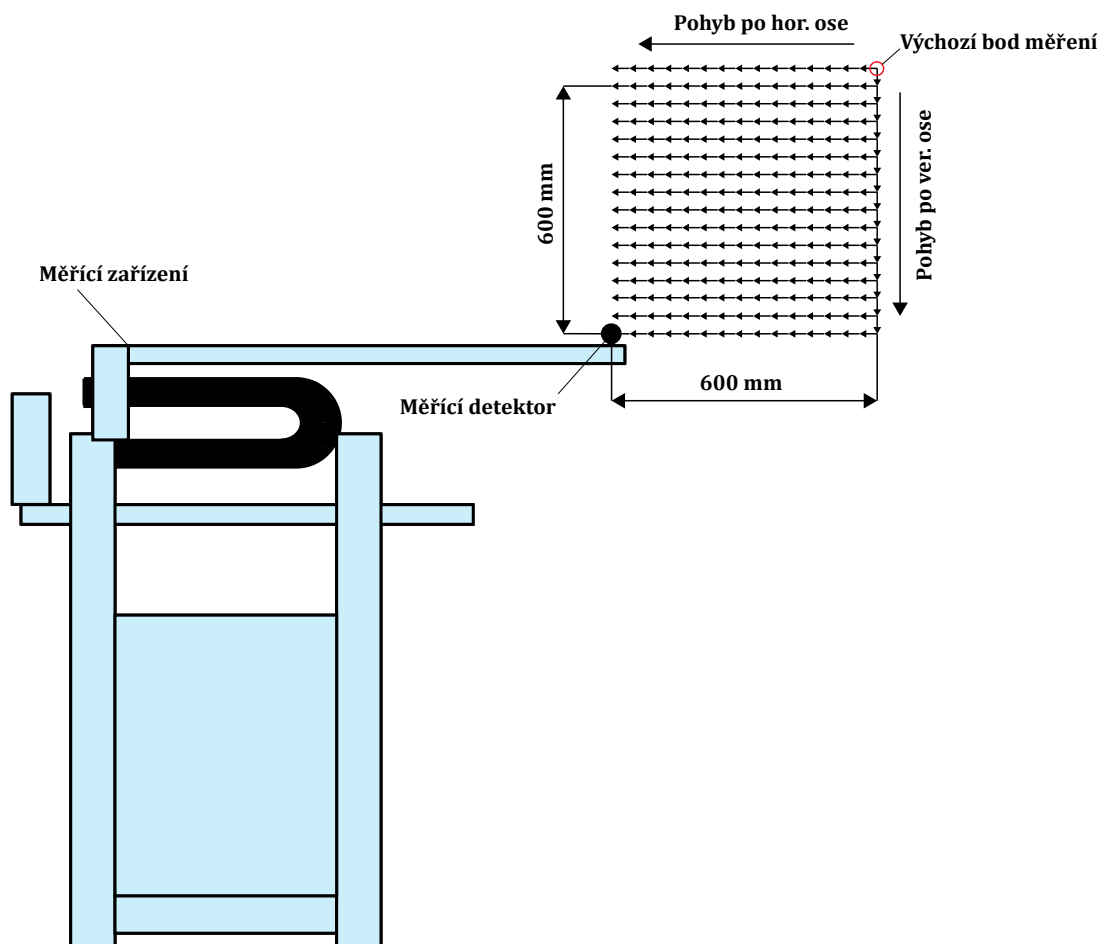
je sled příkazů vytvářející spojení a připravující zařízení na pohyb. Po tomto kroku je možné spustit „Homing“, což je uvedení zařízení do výchozí polohy.

V levém dolním rohu je pak část aplikace pro nastavení měřiče optického výkonu. Zde nastavíme port, na kterém máme zařízení připojeno a požadovanou vlnovou délku v nanometrech. Další částí nutnou před spuštěním měření je nastavení kroku, po kterém bude sejmuta hodnota výkonu. Tento krok se zadává v milimetrech. Poslední položkou je pak nastavení doby zastavení na pozici pro měření. Toto zpoždění je důležité kvůli omezení kmitání ramene po zastavení na pozici. Po tomto nastavení je možné spustit měření.



Obr. 7.6: Grafické rozhraní aplikace pro měření

Po spuštění začne měřicí zařízení projíždět rastr z výchozí polohy nejdříve po horizontální ose. Jakmile dorazí na konec osy, vrátí se zpět na začátek hor. osy a posune vertikální osu o jeden krok. Poté opět projíždí všechny body horizontální osy, jak je patrné na obr. 7.7. Na každé zastávce sejme hodnotu optického výkonu a ukládá ji do matice. Výsledná matice se po naměření všech hodnot vykreslí ve 3D grafu a zobrazí uživateli. Matice se také po měření uloží do textového souboru, pro pozdější možnost práce s hodnotami mimo program MATLAB.



Obr. 7.7: Příklad měřícího rastru pro krok 40mm

7.5.1 Detaily měřící aplikace

Grafické uživatelské rozhraní aplikace bylo vytvořeno s ohledem na jednoduchost a přehlednost důležitých nastavení. Bylo vytvořeno pomocí nástroje GUIDE, které je součástí balíku MATLAB. Jednotlivé části funkčního kódu jsou pak spuštěny v reakci na stisk tlačítka. Inicializaci horizontální a vertikální osy je vytvořeno spojení přes sériovou linku. Při spojení jsou použity následující parametry:

```
handles.s1 = serial(handles.port_X);
set(handles.s1, 'BaudRate', 115200);
set(handles.s1, 'DataBits', 8);
set(handles.s1, 'Parity', 'none');
set(handles.s1, 'StopBits', 1);
set(handles.s1, 'Terminator', 'CR');
set(handles.s1, 'FlowControl', 'hardware');
fopen(handles.s1);
```

Port použitý pro vytvoření spojení se získává z pop-up menu. Dále je při inicializaci nastaven převodní poměr pro danou osu (position_factor) zmíněný v kapitole 7.3:

```
fprintf(handles.s1, '=609301:00004000');
fprintf(handles.s1, '=609302:000000E1');
```

Pro vytvoření spojení s měřičem optického výkonu je použitý kód velmi podobný:

```
handles.s_merak = serial(handles.port_merak);
set(handles.s_merak, 'BaudRate', 115200); %115200 Baud rate
set(handles.s_merak, 'DataBits', 8); %default %-8 Data bits
set(handles.s_merak, 'Parity', 'none'); %default value %-No Parity
set(handles.s_merak, 'StopBits', 1); %default %-1 Stop Bit
set(handles.s_merak, 'Terminator', 'LF');
set(handles.s_merak, 'FlowControl', 'hardware');
fopen(handles.s_merak);
```

Hodnota zadaná v rozhraní jako vlnová délka, se převede na číselnou hodnotu, převede na nanometrech. Příkazem se poté tato hodnota zadá do měřicího zařízení jako vlnová délka pro měření. Vzhledem k problémům při některých měřeních, následuje příkaz pro vypsání všech používaných proměnných (handles) na obrazovku MATLABu.

```
nm = str2num(get(handles.wavelength_edit, 'String'))/1000000000;
pause(0.2);
wavelength = ['WAVELENGTH ', num2str(nm)];
fprintf(handles.s_merak, wavelength);
```

Najetí osy měřicího přístroje do výchozí polohy se provede po stisknutí tlačítka „Homing“. Toto tlačítko vykoná sled následujících příkazů (viz. kap. 7.3):

```
function homing_button_X_Callback(hObject, eventdata, handles)
fprintf(handles.s1, '=651010:0002');
fprintf(handles.s1, '=604000:0006');
fprintf(handles.s1, '=604000:0007');
fprintf(handles.s1, '=604000:000F');
fprintf(handles.s1, '=606000:06');
fprintf(handles.s1, '=604000:001F');
fprintf(handles.s1, '?604100');
pause(20);
fprintf(handles.s1, '=604000:000F');
```

Nyní se dostáváme k hlavní části kódu a tou je samotné spuštění měření. Nejdříve se provede převod hodnoty zadané z pole krok, z řetězce na hodnotu v hexadecimální soustavě. Poté se tato hodnota spojí s příkazem pro další použití v programu. Dále je potřeba nastavit obě jednotky do módu pro zpřístupnění posunu. Vytvoří se matice, do které poté ukládáme naměřené hodnoty.

Další část programu je hlavní částí pro měření. Obsahuje cyklus for pro vertikální osu a v tomto cyklu se nachází další vnořený cyklus for pro horizontální osu. Oběma osám je nastaven krok a pro první iteraci se na vertikální ose posun neprovádí. Zařízení uloží první hodnotu do matice. Nyní následuje vnitřní cyklus, který prochází bod po bodu horizontální osu a ukládá hodnoty přijímaného optického výkonu. Jakmile tento vnořený cyklus projde všechny hodnoty na horizontální ose, končí vykonávání vnořeného cyklu a pokračuje se v cyklu předešlém. Nyní je nutné posunout horizontální osu zpět na začátek a posunout vertikální osu o jeden krok (postup v rastru lze vidět také na obr. 7.7). Poté se opět opakuje vnitřní cyklus, který znovu naměří hodnoty na horizontální ose.

Po vykonání cyklů jsou uzavřeny spojení s oběma jednotkami a také s měřičem optického výkonu. Podle počtu kroků jsou vytvořeny vektory x a y, z kterých je pak vytvořena mřížka pro vykreslení grafu. Hodnoty z matice se uloží do souboru s příponou .txt pro možné použití v jiných aplikacích. Hlavní metoda programu končí vykreslením 3D grafu naměřených hodnot na obrazovku uživatele.

Hlavní část programu, která vykonává samotné proměření svazku, má tento kód:

```
function start_button_Callback(hObject, eventdata, handles)
disp('stop_button_Callback'),handles
handles.step_dec = str2num(get(handles.step_edit,'String'));
handles.step_hex = dec2hex(((handles.step_dec)*10),8);
handles.pocet_kroku = 600/(handles.step_dec);
handles.step_str = num2str(handles.step_hex);
handles.command_stepbezhex='607A00:';
handles.command_step = strcat(handles.command_stepbezhex,handles.step_str);
fprintf(handles.s1,'606000:01'); %přepnutí do position_mode
fprintf(handles.s2,'606000:01');
matrix = [0];
for i=1:(handles.pocet_kroku)+1%Cyklus pro Y osu
fprintf(handles.s1,handles.command_step); %nastavení kroku
fprintf(handles.s2,handles.command_step);
if(i>1)
fprintf(handles.s2,'604000:005F'); %vykonej posun na relativní hodnotu
pause(str2num(get(handles.pause_edit,'String')));%pauza pro přejetí
fprintf(handles.s2,'604000:000F'); %přepnutí do režimu ready
end
fprintf(handles.s_merak,'POWER?'); %sejmutí hodnoty optického výkonu
matrix(1,((handles.pocet_kroku)+1-(i-1)))=str2num(fscanf(handles.s_merak));
%uložení hodnoty do matice
for j=1:(handles.pocet_kroku) %vnořený cyklus pro X osu
fprintf(handles.s1,'604000:005F'); %vykonej posun o relativní hodnotu
pause(str2num(get(handles.pause_edit,'String')));%pauza pro přejetí
fprintf(handles.s1,'604000:000F'); %přepni do režimu ready
fprintf(handles.s_merak,'POWER?'); %sejmutí hodnoty optického výkonu
matrix(j+1,((handles.pocet_kroku)+1-(i-1)))=str2num(fscanf(handles.s_merak));
end
pause(0.2);
fprintf(handles.s1,'607A00:00000000'); %nastavení pozice (na začátek osy)
pause(0.2);
fprintf(handles.s1,'604000:001F'); %vykonej posun na absolutní hodnotu
pause(8); %pauza pro návrat do bodu 0
fprintf(handles.s1,handles.command_step); %nastavení kroku
fprintf(handles.s1,'604000:000F'); %přepnutí do režimu ready
end

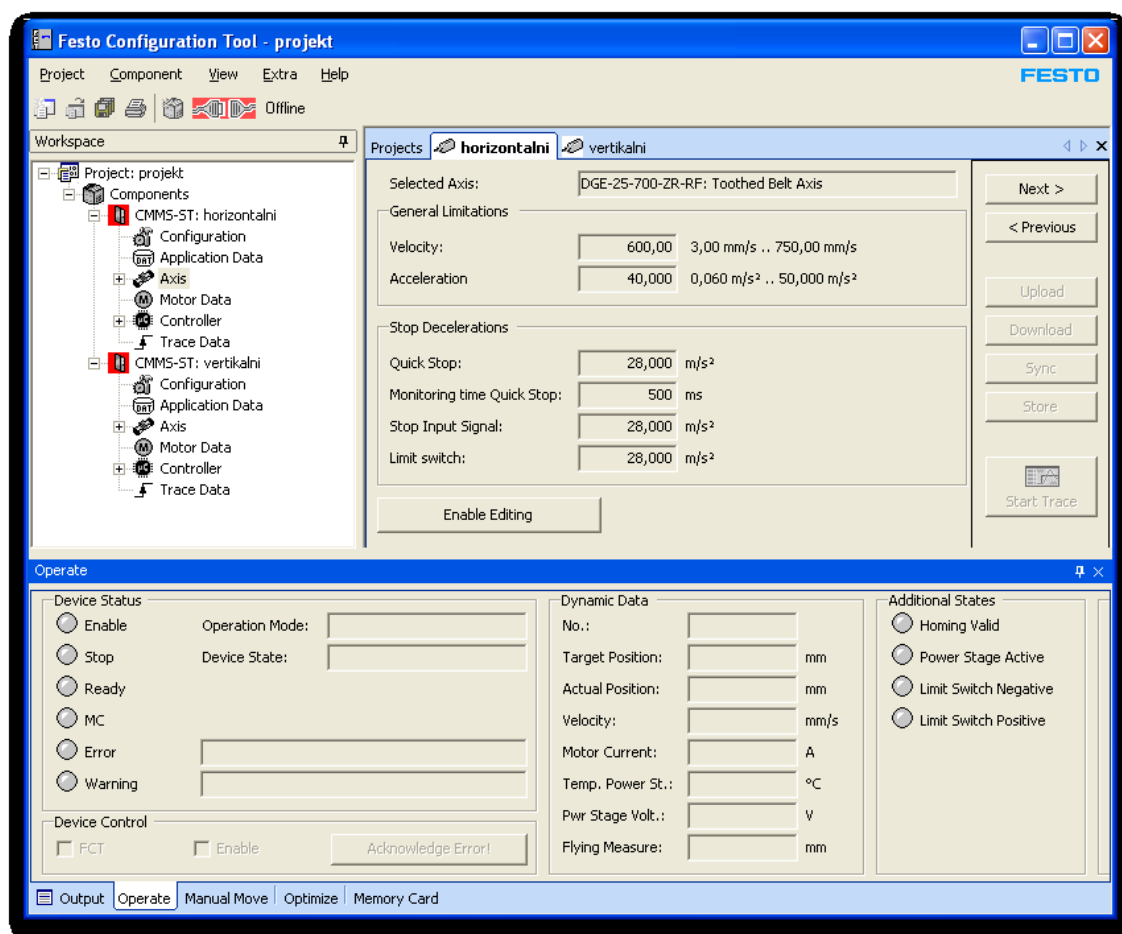
fclose(handles.s1);
fclose(handles.s2);
fclose(handles.s_merak);
figure;
x = 0:(handles.pocet_kroku); % vytvoření vektoru na ose x
y = x; % vytvoření vektoru na ose y
[X,Y] = meshgrid(x,y); % vytvoření mřížky pro vykreslení
save('mereni.txt','matrix','-ASCII') % uložení hodnot měření do souboru
Z = matrix;
mesh(X,Y,Z); % vykreslení 3D grafu
```

7.6. Použití měřicího zařízení v praxi

Měření optického výkonu po průřezu svazku probíhalo na střeše budovy rektorátu. Přijímaný optický svazek byl přijímán z hlavičky umístěného na věži hvězdárny. Měření probíhalo jak přes den, tak v nočních hodinách.

Po připojení měřicího zařízení k napájení je nutné propojit měřicí zařízení s počítačem. To se provede pomocí tří sériových kabelů (křížené kabely pro řídicí jednotky a přímý kabel pro měřič optického výkonu) zapojenými do počítače. V praxi byl použit rozbočovač portu USB na 4 porty RS-232. Po zapojení do sítě je možné provést spojení s počítačem, kdy je nejdříve vhodné se spojit s jednotkami pomocí aplikace Festo Configuration Tool (obr. 7.8), kde je možné zjistit obsazení portů. V této aplikaci je také možnost nastavení mnoha parametrů

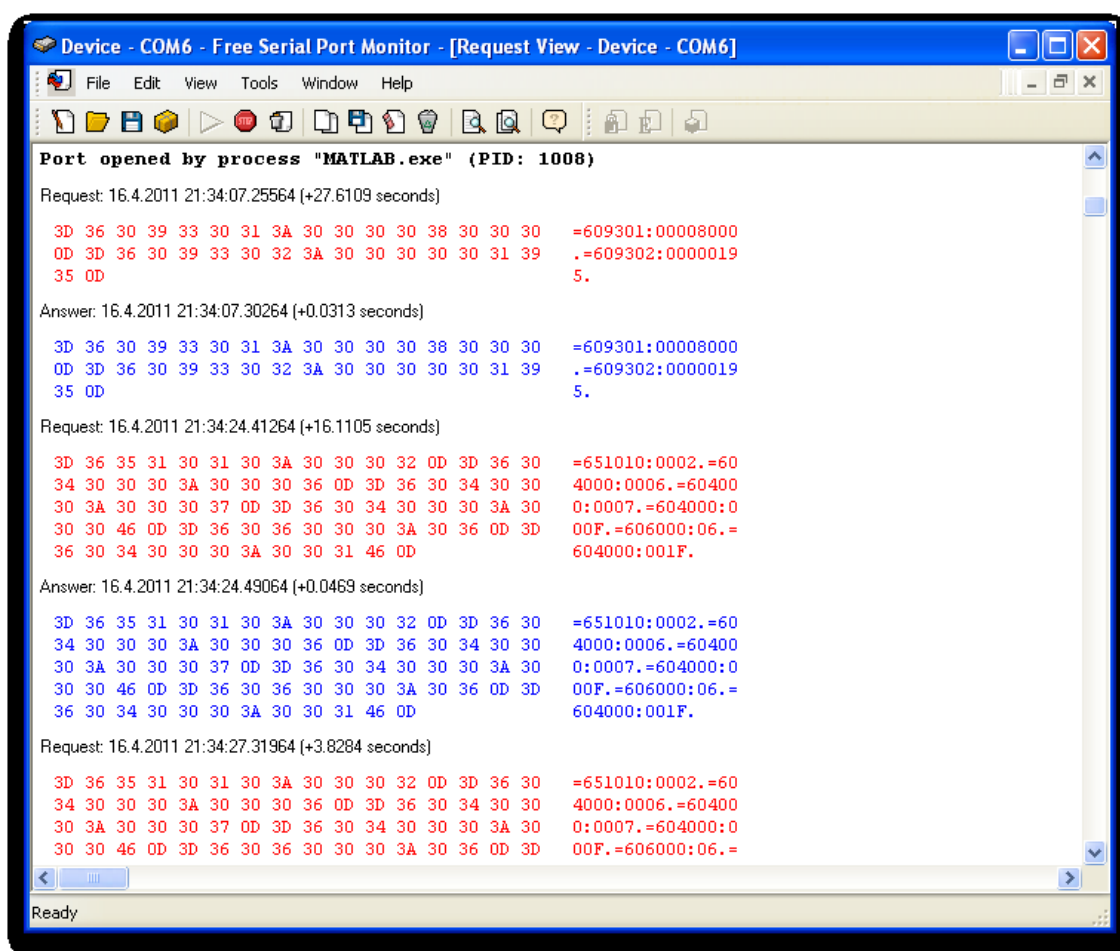
řídících jednotek, os, rychlosti motorů apod. Zároveň možné otestovat kompletní funkčnost zařízení.



Obr. 7.8: Rozhraní aplikace Festo Configuration Tool

Po tomto kroku je již možné spustit aplikaci na měření v programu MATLAB. Při měření bylo využíváno aplikace Free Serial Port Monitor pro sledování aktivity na sériových linkách viz. obr. 7.9. Pro každou linku byla spuštěna vlastní instance aplikace v režimu sledování Request View. Toto je vhodné zejména při připojování a inicializování řídících jednotek os a měřiče optického výkonu.

Před prvním spuštěním pohybových částí zařízení je nutné mít zařízení v režimu „Ready“. To se provádí přepnutím dvou vypínačů na zadní části krytu do polohy „ON“. Po spuštění samotné aplikace pro měření a výběru portů, můžeme provést inicializaci horizontální a vertikální osy (připojení k řídícím jednotkám ovládající osy). Jakmile jsou provedeny příkazy pro inicializaci, je možné spustit nastavení polohy os do výchozí polohy tlačítkem „Homing“. Je nutné vykonání úplného dojetí do výchozí polohy a poté počkat na dokončení této metody, před spuštěním měření. To lze kontrolovat právě výše zmíněnou aplikací Free Serial Port Monitor. Těmito kroky jsou měřicí osy připraveny k měření.



Obr. 7.9: Sledování provozu na sériové lince

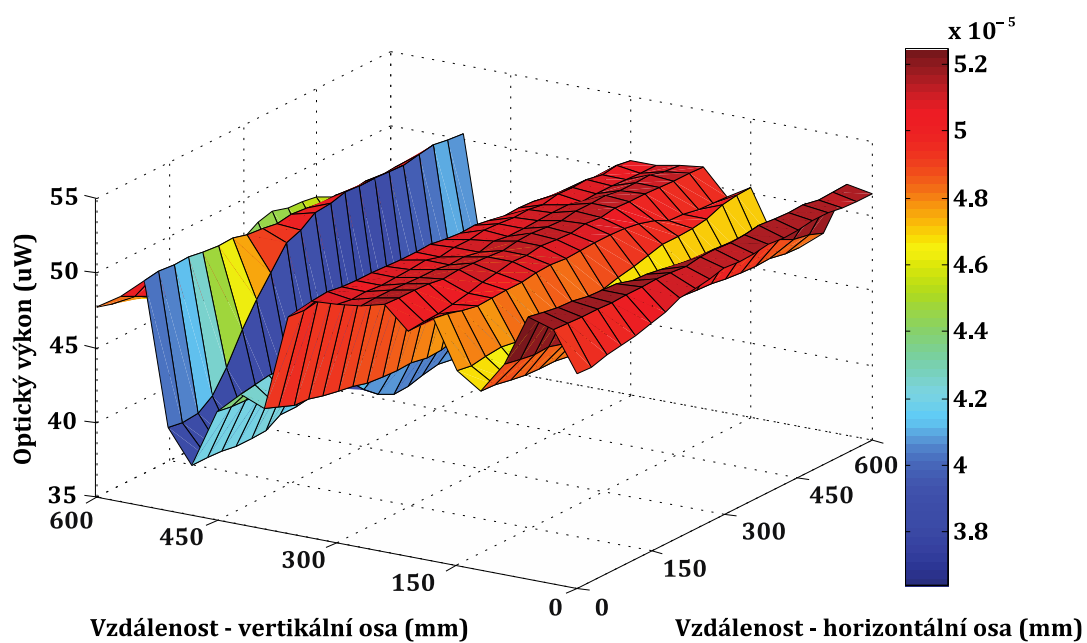
Následuje nastavení měřiče optického výkonu. Zde nastavíme měřenou vlnovou délku v nanometrech a zařízení inicializujeme. Nastavíme požadovaný krok při měření v mm a časový interval pro ustálení kmitání měřícího ramene. Tlačítkem „Start“ spustíme měření. Po úplném dokončení měření se vygeneruje 3D graf se zobrazením naměřených hodnot a matice hodnot se uloží do textového souboru.

7.7. Naměřené grafy optického výkonu

Při prvních měřeních bylo zjištěno, že okolní sluneční světlo velmi ovlivňuje měření, ikdyž byl detektor optického výkonu zastíněn v černé trubce (obr. 7.10), proti přímému slunečnímu svitu. Bylo naměřeno několik měření, na vlnových délkách, na kterých přenos pracuje (830 – 860 nm) s různými kroky, avšak měření bylo vždy velmi ovlivněno parazitním světlem (viz. graf 7.1). Hodnoty přijatého výkonu přes den v jasném prostředí pohybovaly v 40 – 60 uW. V noci pak byly naměřeny hodnoty okolo 1 uW. Pro měření byl použit křemíkový detektor více popsáný v kapitole 7.4.

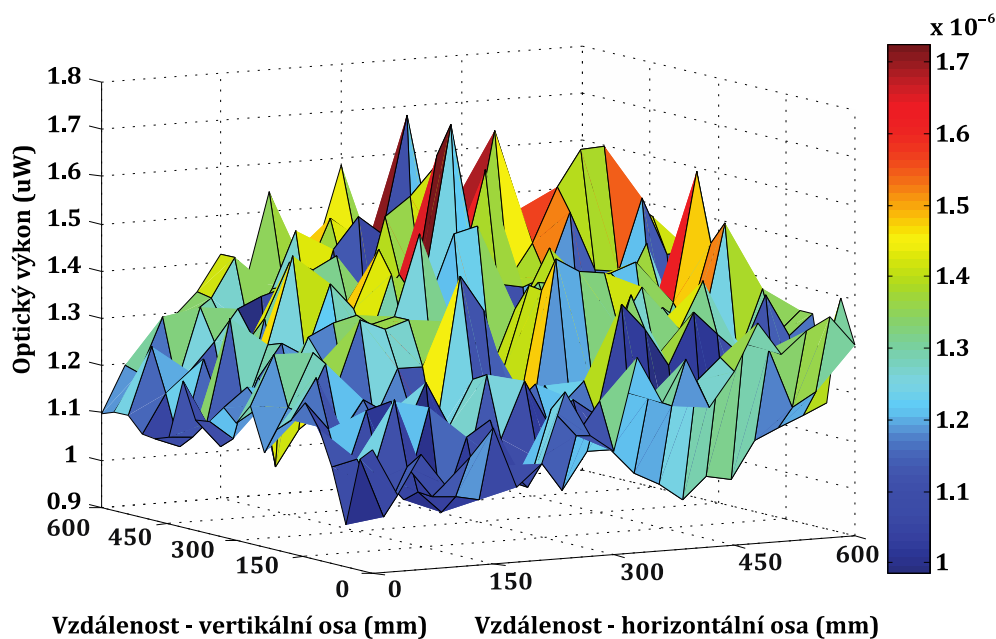


Obr. 7.10: Detektor optického výkonu umístěný ve stínící trubce



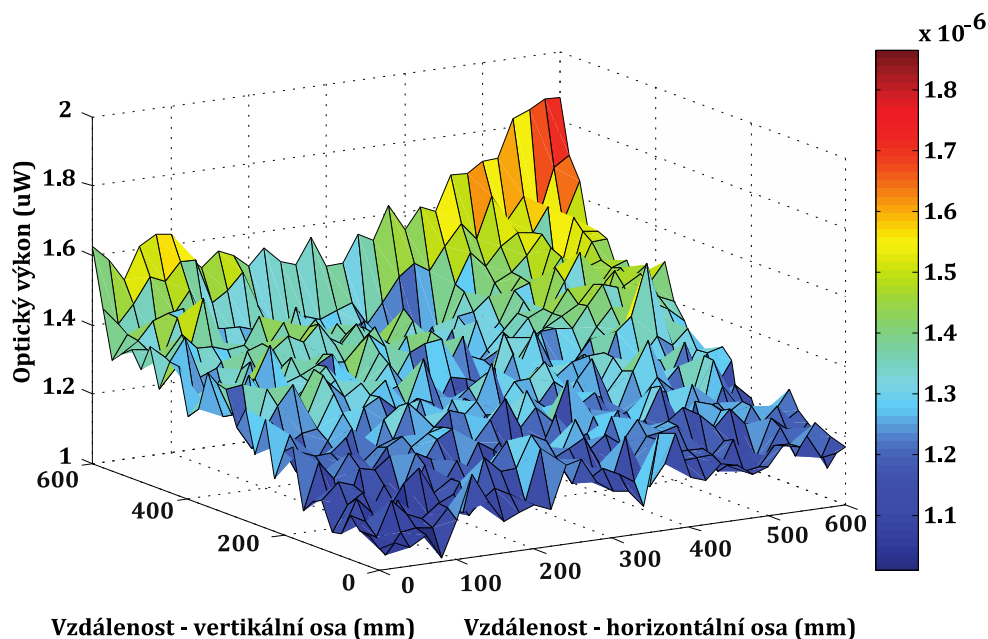
Graf7.1: Optický výkon naměřený dne 16.4.2011 ve 14:00 hod.

Graf 7.1 byl naměřen 16.4. 2011 ve 14:00 hod. při teplotě 12,8°C, vlhkosti vzduchu 46%, severozápadním větru o rychlosti 2,2 m/s a tlaku 1022,5 hPa. Z grafu lze pozorovat velký optický výkon způsobený právě okolním parazitním světlem. „Vlny“, které jsou na grafu viditelné jsou způsobené změnami okolního světla, které se na horizontální ose neprojeví tak mnoho, jako na ose vertikální. Tento jev vzniká při rychlých změnách přijímaného optického výkonu, kvůli způsobu měření v rastru.



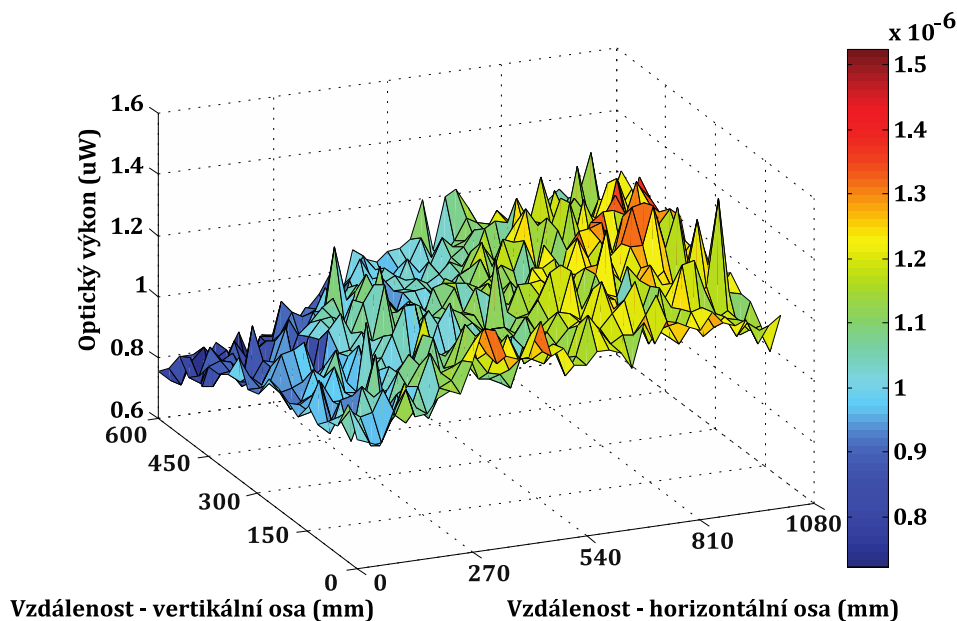
Graf 7.2: Optický výkon naměřený dne 16.4.2011 ve 22:00 hod.

Druhý graf optického výkonu po průřezu svazku s označením 7.2 je ze stejného dne jako graf první, ale naměřený v nočních hodinách. Podmínky při měření byly následující: $\lambda = 840$ nm, teplota 9,4 °C, vlhkost vzduchu 58 %, severozápadní vítr o rychlosti 2,2 m/s, tlak 1022,7 hPa. Přijímaný optický výkon je, oproti hodnotám naměřeným ve dne, velmi nízký a pohybuje se okolo 1 uW. Při měření byla poloha zařízení nastavena tak, aby místo kde se nachází přijímací hlavice, korespondovalo se středem měřicí matice, resp. grafu. Na grafu je pozorovatelný zaoblený tvar svazku s největší intenzitou v místě hlavice. Graf obsahuje velké množství vrcholů s velkou intenzitou. To je způsobeno fluktuacemi svazku při průchodu atmosférickým prostředím.



Graf 7.3: Optický výkon naměřený dne 19.4.2011 ve 20:00 hod.

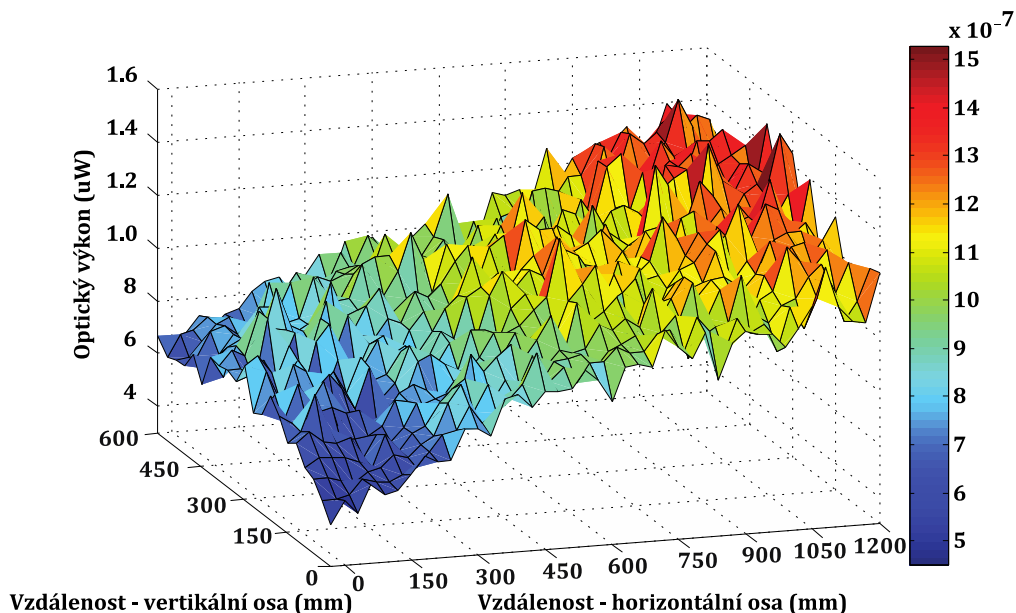
Další graf 7.3 byl naměřen s $\lambda = 840$ nm, 19.4.2011 ve 20:00 hod. při 11,6 °C, vlhkosti vzduchu 52 %, při severozápadním větru o rychlosti 2,2 m/s a při tlaku 1024,5 hPa. Tento graf nám ukazuje okraj svazku, avšak měření bylo spuštěno po západu slunce, kdy byla v okolním světle ještě stále část slunečního záření. To se projevuje v horní části grafu, kde je měření ovlivněno.



Graf 7.4: Optický výkon naměřený dne 20.4.2011 ve 21:00 hod.

Graf 7.4 byl naměřen dne 20.4.2011 ve 21:00 hod. při těchto podmínkách: Teplota 16,4 °C, vlhkost vzduchu 46 %, bezvětří, tlak 1017,9 hPa. Tento průřez optického svazku byl

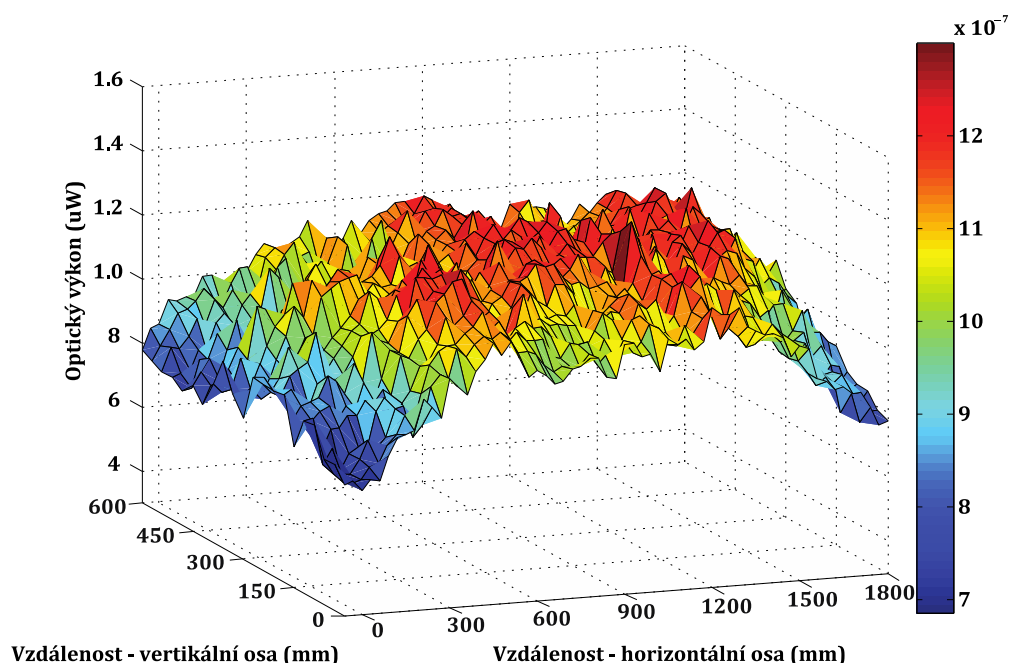
naměřen tak, že byl nejdříve naměřen okraj svazku a poté bylo zařízení posunuto na střed svazku, tak aby bylo možné poté naměřené hodnoty spojit. Naměřený graf nám ukazuje velkou intenzitu ve střední části svazku a snižující se intenzitu ke kraji svazku.



Graf 7.5: Optický výkon naměřený dne 21.4.2011 ve 21:00 hod.

Graf 7.5 byl naměřen dne 21.4.2011 ve 21:00 hod. při těchto podmínkách: Teplota 18,7 °C, vlhkost vzduchu 44 %, bezvětří, tlak 1015,6 hPa. Tento graf byl naměřen stejným způsobem jako předchozí graf, s tím rozdílem, že posunutí zařízení bylo provedeno velmi přesně, tudíž nebylo nutné vyzařovat blok totožných hodnot. Opět je vidět velký optický výkon v oblastech okolo středu (umístění hlavice) a zmenšující se výkon směrem od hlavice.

Poslední graf na obr. 7.6 byl naměřen dne 25.4.2011 ve 21:00 hod. při těchto podmínkách: Teplota 11,7 °C, vlhkost vzduchu 77 %, jihovýchodní vítr o rychlosti 0,03 m/s, tlak 1017,8 hPa. Graf byl naměřen třemi samostatnými měřeními tak, že nejdříve bylo zařízení posunuto na pravou stranu tak, aby rameno zabíhalo až na pravý okraj svazku. Poté byl posunut na střed a nakonec na levou stranu. Následně byly naměřené hodnoty vhodně spojeny. Tím se podařilo zachytit větší šířku svazku ($3 \times 600 = 1800$ mm), na které již můžeme pozorovat vrchol svazku s vysokou hodnotou optického výkonu a svažující se okraje svazku na stranách. Jelikož udaná divergence svazku je 2 mrad a body spoje jsou vzdáleny 1,47 km, svazek má na druhém konci spoje 2,94 m. Při tomto měření bylo tedy proměřeno přibližně 61 % velikosti svazku.



Graf7.6: Optický výkon naměřený dne 25.4.2011 ve 21:00 hod.

Jelikož je průběh stále velmi ovlivněn vlivy atmosférického prostředí, bylo vhodné jej pro větší názornost proložit, jak lze vidět na grafu 7.7. Průběh byl proložen v programu MATLAB R2009a polynomicou kvadratickou funkcí LOWESS (Locally Weighted Scatterplot Smoothing), aby více vynikl hledaný tvar svazku. Tato funkce využívá lokální vážené regrese navržené v r. 1979 Clevelandem. Výpočet LOWESS probíhá následujícím způsobem:

- Sečtení hodnot v sousedství bodu. Jedná se o počet prvků násobený hodnotou LOWESS, zaokrouhlený na celé číslo. Tento parametr nazýváme q .
- Použitím troj-mocninné funkce vytvoříme vážené nejmenší čtverce. Váhu příslušící bodu (x_k, y_k) vypočteme podle vzorce:

$$t_i(x_k) = T\left(\frac{(x_i - x_k)}{d_i}\right), \quad (19)$$

kde d_i je vzdálenost od bodu x_i ke q -tému nejbližšímu sousedu, T je vážená tří-mocninná funkce.

- Spočítáme rezidua výpočtu
- Spočítáme dvojčtvercovou funkci z reziduí
- Použijeme horizontální váhy (z tří-mocninné funkce) vynásobené vertikálními váhami (z dvojčtvercové funkce) ve vážených nejmenších čtvercích

K proložení byl použit nástroj sftool (viz. obr. 7.11), který je součástí balíku MATLAB. Ke spuštění nástroje sftool je pro verzi R2009a nutná následující syntaxe [13]:

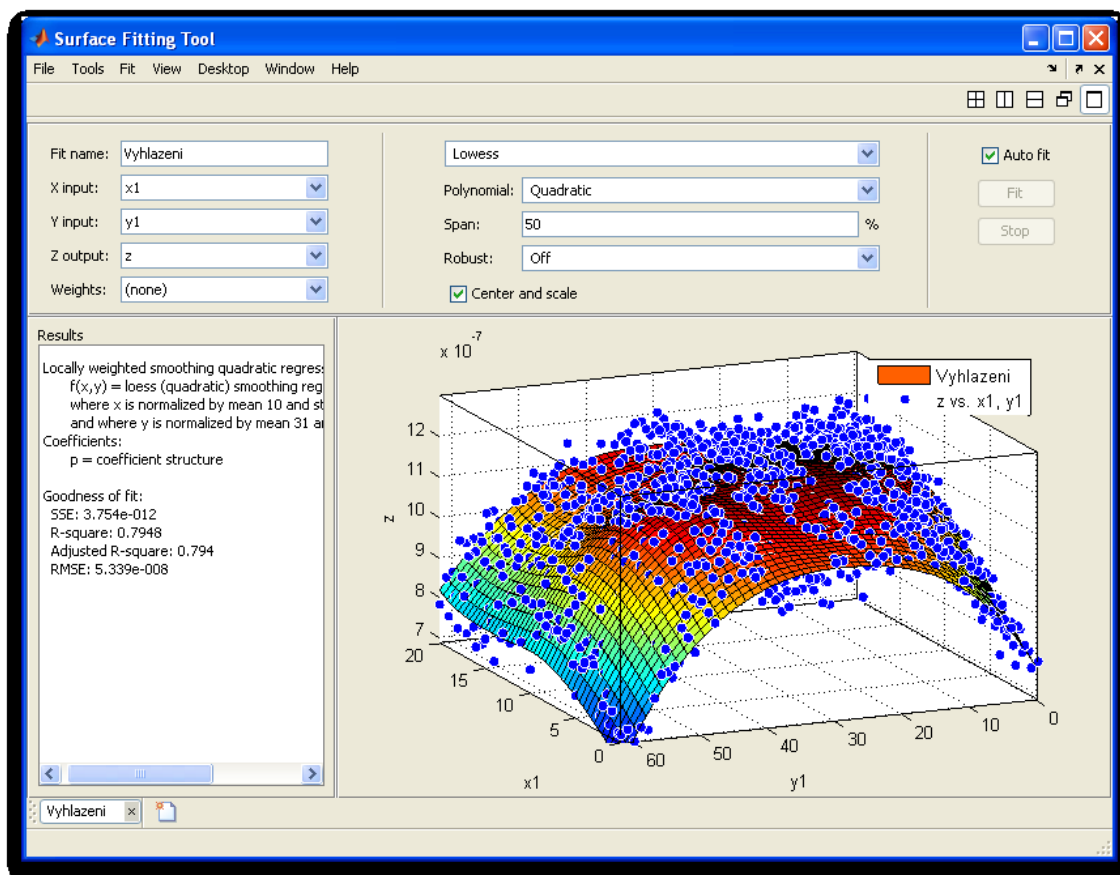
```
>> sftool(X(:), Y(:), matrix(:))
```

Pro novější verze MATLABU je pak syntaxe následující:

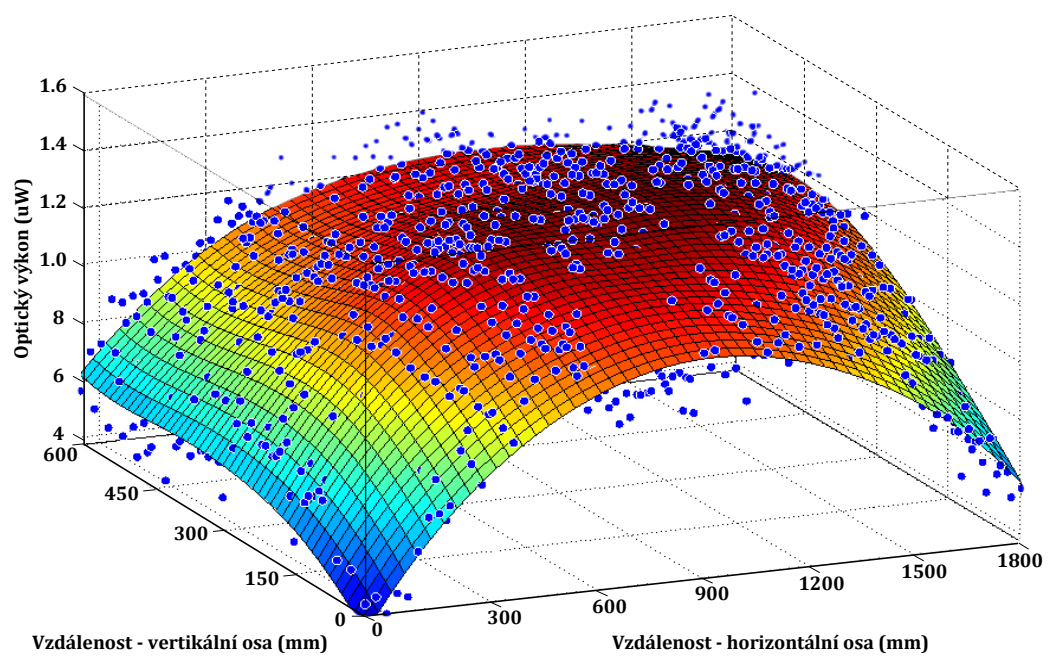
```
>> sftool(X, Y, matrix)
```

V tomto příkaze je za X dosazen vektor horizontální osy, za Y vektor vertikální osy a za $matrix$ je dosazena matice naměřených hodnot.

Proložení bylo vypočteno z rozsahem 50%, kdy je hodnota R-Square = 0,7948. R-Square je parametr udávající informaci o shodě, jakým způsobem se regresní křivky blíží reálným datovým hodnotám. Při R-Square = 1 se model shoduje s daty. Modré značky ukazují datové hodnoty naměřené pomocí zařízení na měření průřezu optického výkonu.



Obr. 7.11: Nastavení nástroje sftool při vyhlazení naměřeného svazku



Graf 7.7: Proložený optický výkon naměřený dne 25.4.2011 ve 21:00 hod.

8. Měření chybovosti

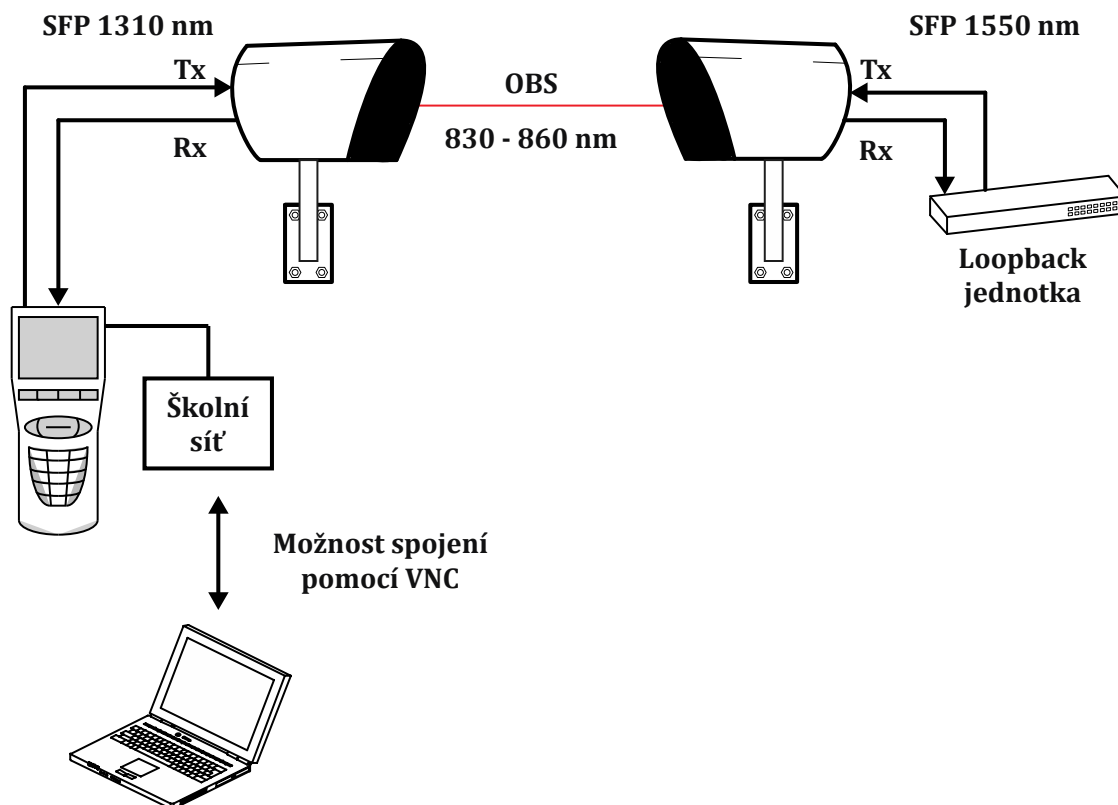
8.1. Měření pomocí zařízení EXFO

Pro měření chybovosti Bit Error Rate Testing (BERT) a měření parametrů trasy RFC 2544 bylo použito zařízení EXFO AXS 200/850.

K hlavici na rektorátu VŠB bylo přes SFP moduly ($\lambda = 1310$ nm) připojeno měřicí zařízení EXFO. Při prvních testech byla hlavice umístěná na hvězdárně nastavena do režimu „Loopback“ (přijatý signál se posílá ihned zpět), avšak toto nastavení pro měření nevyhovovalo. Laserová hlavice totiž přenáší signál pouze na fyzické vrstvě, není tedy k dispozici aktivní prvek s IP adresou, které měřicí zařízení k testování trasy vyžaduje. Hlavice byla tedy přepnuta do režimu „Normal“ a k němu připojen aktivní prvek – Loopback jednotka Accedian Networks EtherNID™ GE (AEN-1000GE). Toto připojení je také řešeno optickými vlákny s SFP moduly ($\lambda = 1550$ nm).

Měřicí zařízení EXFO bylo připojeno UTP kabelem do školní sítě, aby jej bylo možné ovládat vzdáleně přes VNC (Virtual Network Computing). Jelikož spojení nefungovalo přes software dodaný výrobcem na CD, bylo nutné najít vhodný VNC prohlížeč. Program UltraVNC umožňoval funkční spojení prakticky ihned po zadání IP adresy, při implicitním nastavení. Schéma zapojení jednotlivých prvků při měření je zobrazen na obr. 8.1.

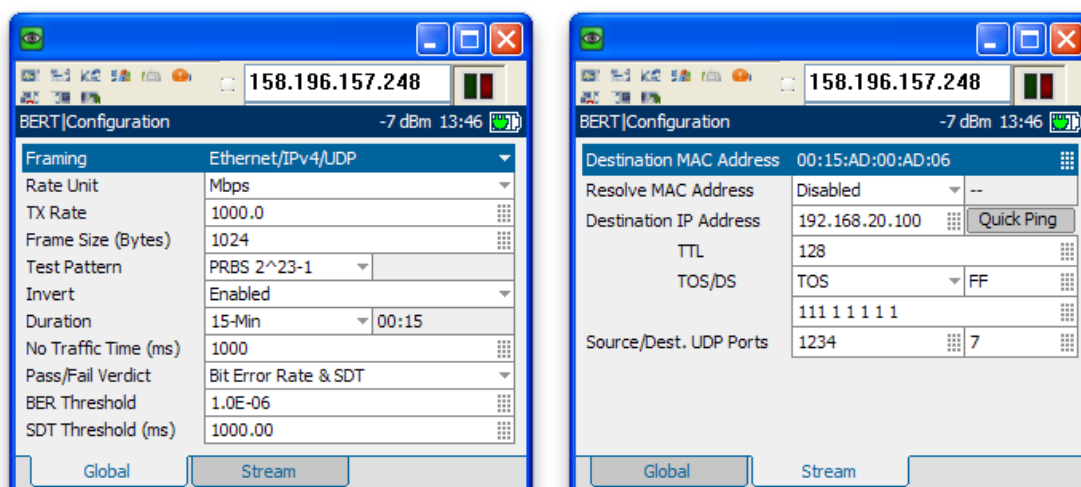
Při měření se projevily problémy s pamětí zařízení. Docházelo k zahlcení paměti a zaseknutí přístroje. Tento problém pak bylo nutné řešit resetováním zařízení, což již není možné vyřešit prostřednictvím VNC.



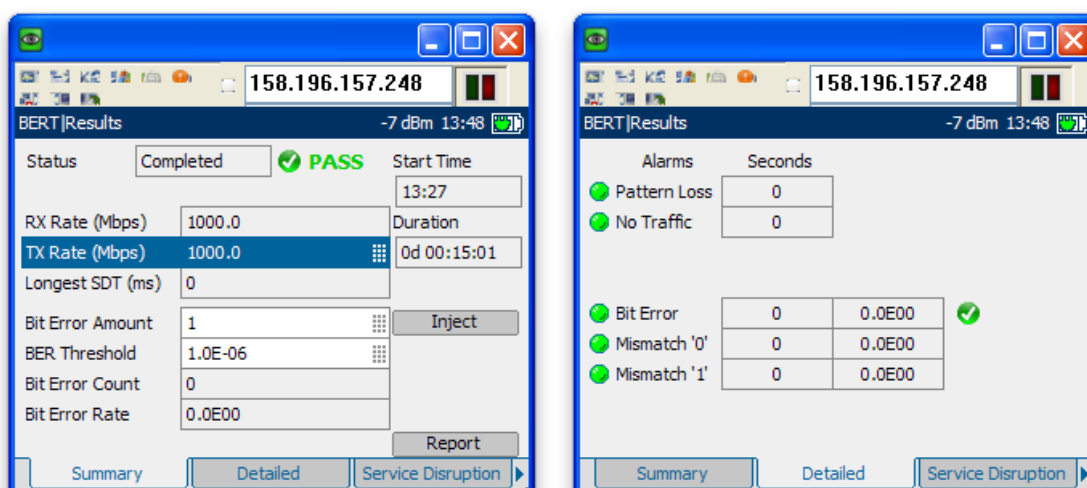
Obr. 8.1: Schéma propojení prvků při měření se zařízením EXFO

8.2.1 Měření BERT

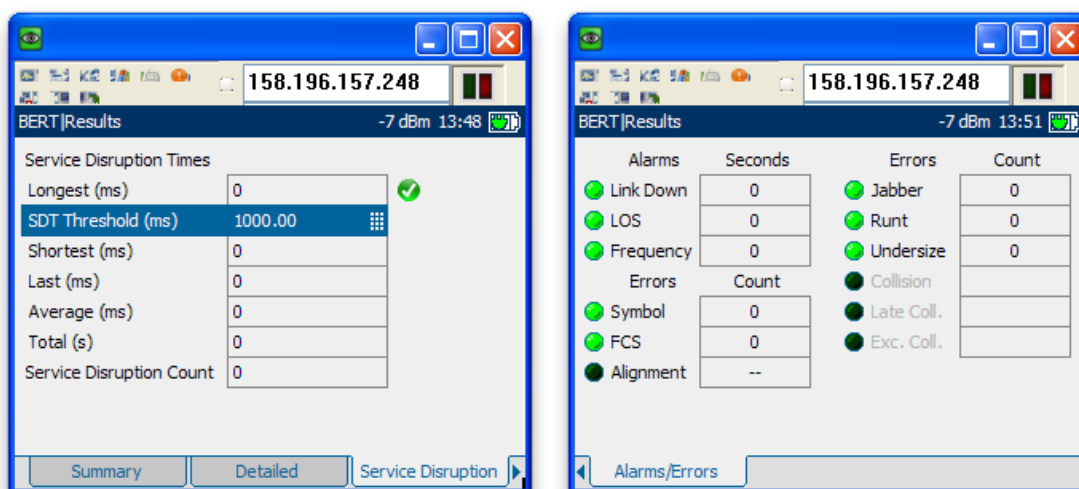
Měřením BERT (Bit Error Rate Testing) zjišťujeme bitovou chybovost měřeného spoje. Jedná se o poměr chybně zpracovaných bitů, vůči celkovému počtu vyslaných bitů. Měřicí zařízení EXFO AXS 200/850 umožňuje měření bitové chybovosti. Testování bitové chybovosti spočívá ve vyslání určitého datového toku a po přijetí tohoto datového toku jsou tyto data porovnávány s vyslanými daty. Testování bitové chybovosti probíhalo od 29.4.2011 do 2.5.2011 ve 4:00, 9:00, 14:00, 19:00, 23:00 hod.



Obr. 8.2: Obecné nastavení a nastavení toku při měření bitové chybovosti



Obr. 8.3: Celkový přehled a detailní výsledky po měření bitové chybovosti



Obr. 8.4: Záznamy výpadků spojení a kolísání po měření bitové chybovosti

Měřením BERT bylo zjištěno, že daný optický bezvláknový spoj má při měřených podmínkách nulovou chybovost. V měřeném období byly naměřené hodnoty konstantní. Tyto výsledky byly dne 2.5.2011 ve 17:40 hod. dále ověřeny ethernet analyzátozem EXFO FTB-8510G, který naměřené výsledky potvrdil. Hodnoty naměřené měřicím zařízením EXFO AXS 200/850 a EXFO FTB-8510G jsou uvedeny v příloze C.

8.2.2 Měření RFC 2544

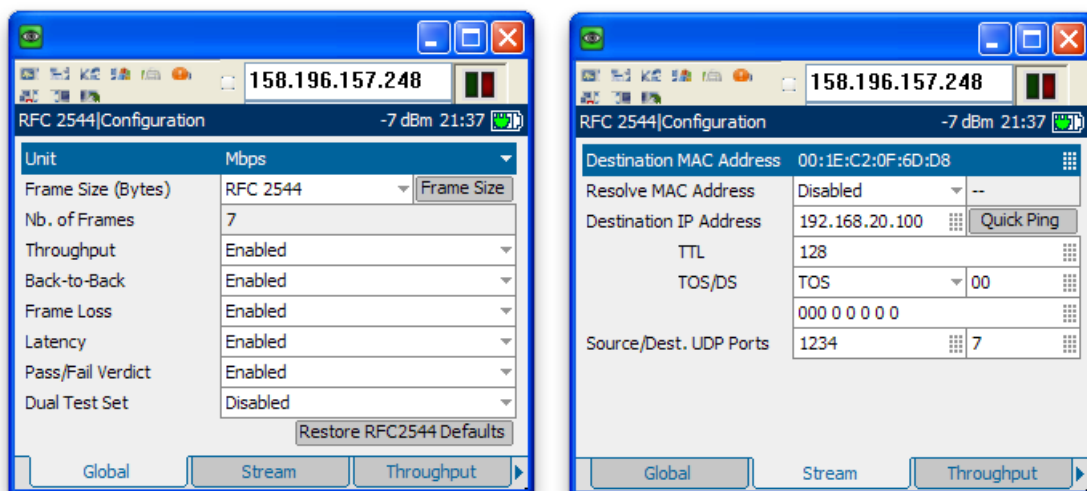
Měření pomocí metody RFC 2544 umožňuje získat informace o propustnosti, ztrátách, zpoždění a kolísání. Zařízení EXFO AXS 200/850 nám nabízí množství možného nastavení pro jednotlivé části měření (Throughput, Back-to-Back, Frame Loss, Latency). Měření RFC 2544 na trase probíhalo od 29.4.2011 do 2.5.2011 ve 4:00, 9:00, 14:00, 19:00, 23:00 hod. Nastavení měřicích parametrů můžeme vidět na obr. 8.2, 8.3, 8.4.

Testem propustnosti získáváme informace o maximální rychlosti zasílání paketů, kdy nejsou zahozeny žádné odeslané pakety. Při testování pošleme určitý počet rámců a sledujeme počet zpracovaných rámců. Pokud se počet zpracovaných rámců liší od počtu rámců odeslaných, sníží se přenosová rychlost a měření se opakuje, dokud se počty rámců neshodují [12].

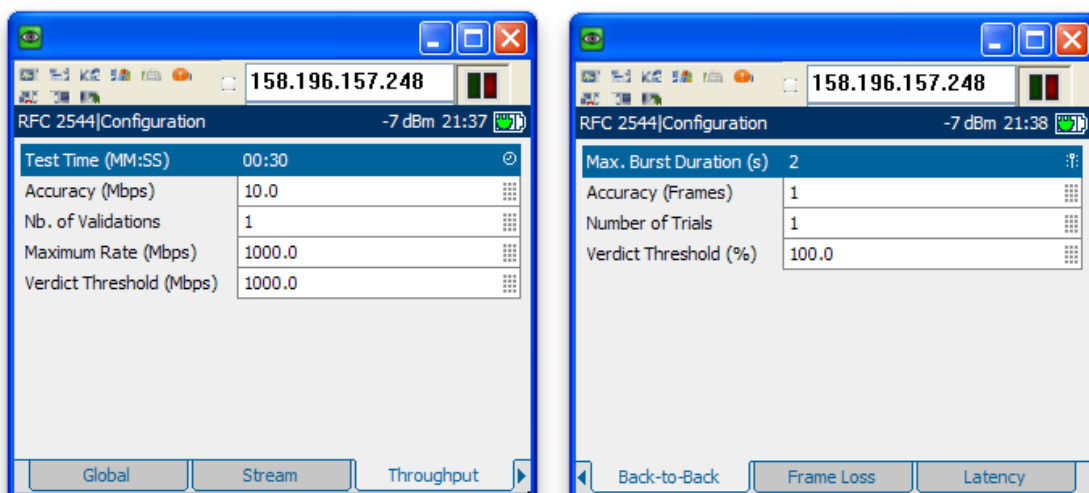
Při testování back-to-back rámců používáme rámce s pevnou délkou, které jsou vyslány za sebou. Jestliže některý z back-to-back rámců nebyl doručen, sníží se počet rámců. Výsledkem testu back-to-back je pak počet rámců v nejdelším shluku, které dané zařízení zvládlo zpracovat [12].

Test ztrátovosti rámců nám procentuálně vyjadřuje poměr paketů odeslaných vůči paketům přijatým. Nejdříve se provede test, který probíhá na maximální přenosové rychlosti. Poté se rychlost snižuje, v maximálních krocích 10 %. Test je ukončen, jakmile dojde ve dvou po sobě jdoucích měření k nulovým ztrátám rámců [12].

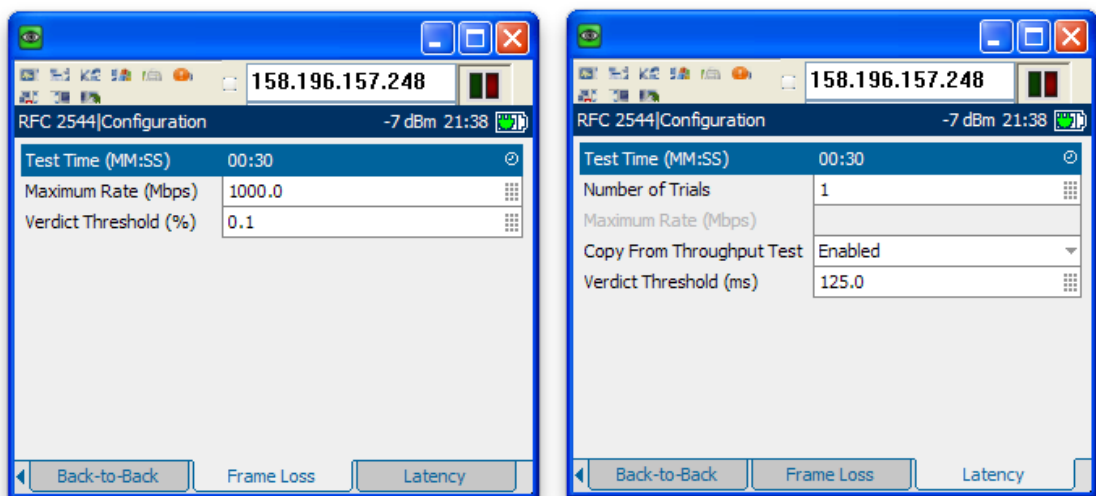
Test zpoždění měří čas, za který data od vyslání doputují zpět do měřicího zařízení. Velká doba zpoždění je pro některé aplikace nepřijatelná (např. VoIP telefonie). Zpoždění se udává v čase, zpravidla v milisekundách [12].



Obr. 8.5: Obecné nastavení při měření RFC 2544

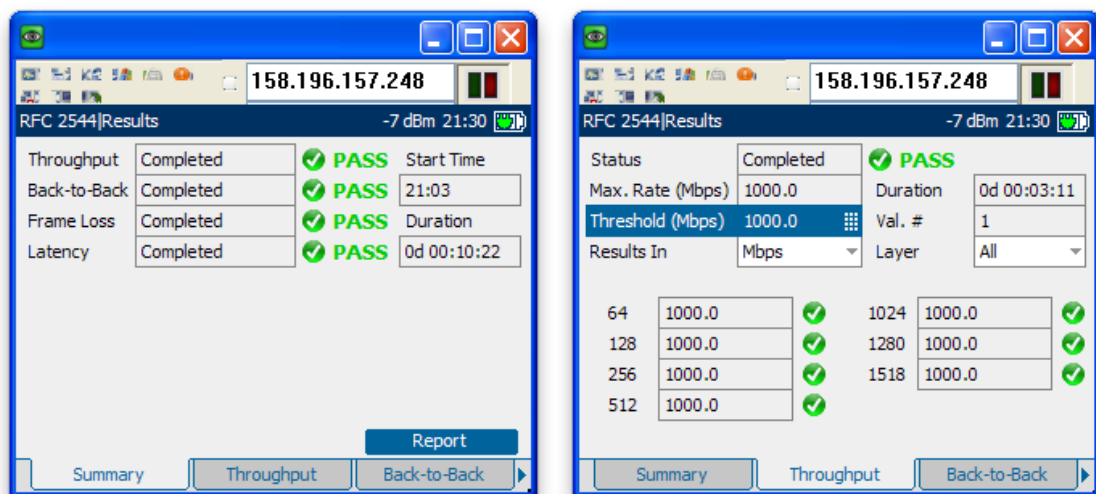


Obr. 8.6: Nastavení propustnosti a back-to-back při měření RFC 2544

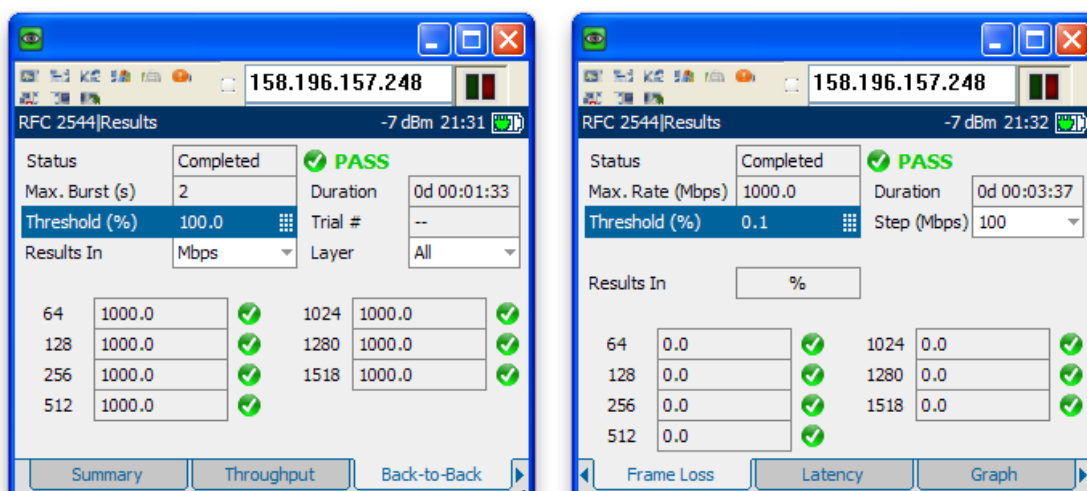


Obr. 8.7: Nastavení ztrátovosti rámců a zpoždění při měření RFC 2544

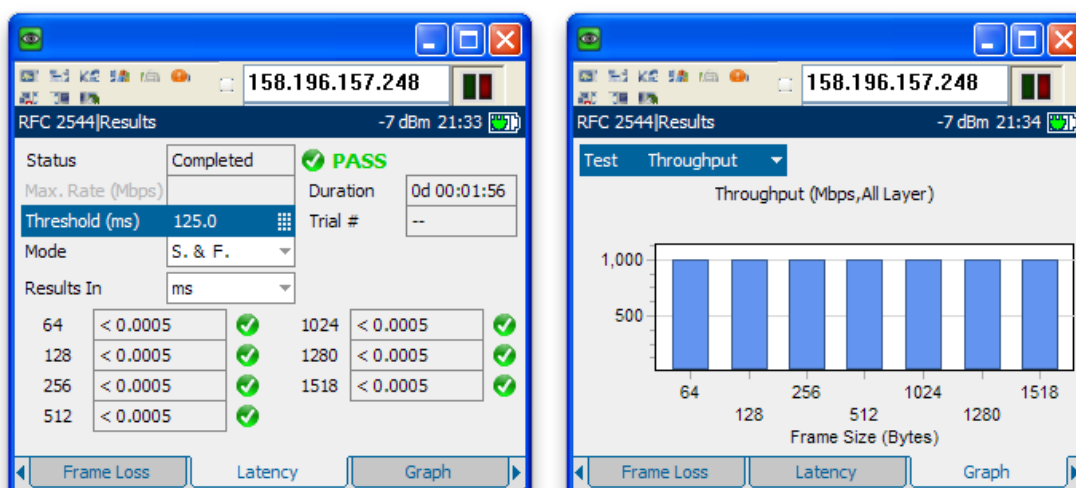
Výsledky testů jednotlivých měření se dají zobrazit přehledně v záložkách, přímo v uživatelském rozhraní. Další možností je vygenerování reportu do textového souboru. Vygenerované reporty jsou obsaženy v příloze s označením C.



Obr. 8.8: Celkové hodnocení měření a výsledky propustnosti po měření RFC 2544 dne 29.4.2011 ve 21:00 hod.



Obr. 8.9: Výsledky měření back-to-back a ztráty rámců po měření RFC 2544 dne 29.4.2011 ve 21:00 hod.



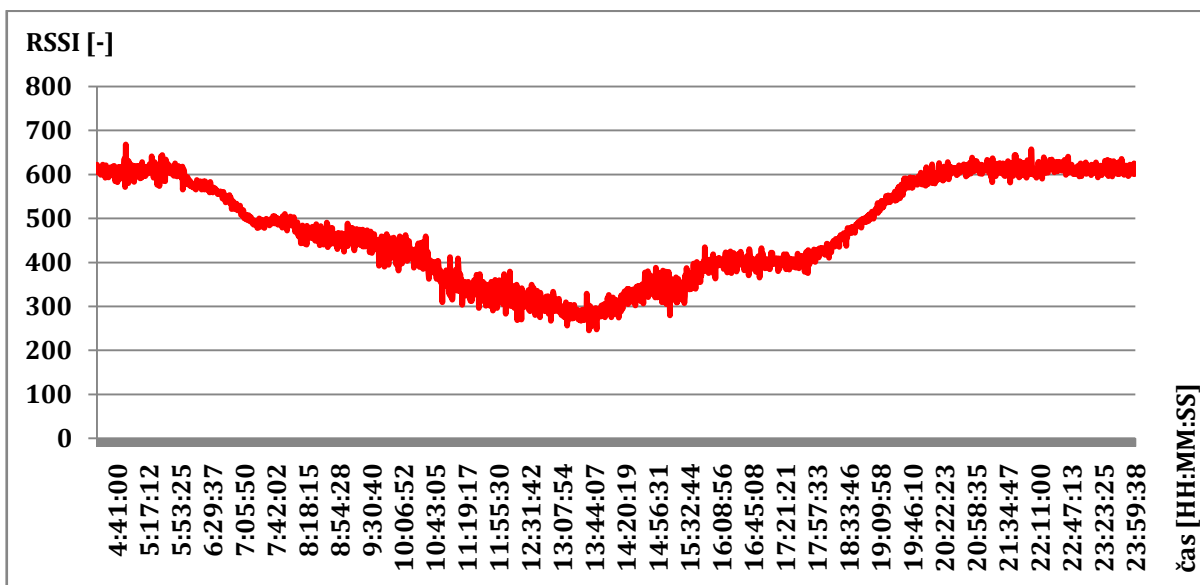
Obr. 8.10: Výsledky měření zpoždění a graf propustnosti po měření RFC 2544 dne 29.4.2011 ve 21:00 hod.

Měřením RFC 2544 byly zjištěny parametry trasy, které potvrdily, že daný optický bezvláknový spoj má při měřených podmínkách vynikající parametry. V měřeném období byly naměřené hodnoty konstantní a dosahovaly výborných parametrů. Naměřené hodnoty propustnosti byly 1000 Mb/s, zpoždění bylo menší než 0,0005 ms, při zachování všech rámců. Tyto hodnoty byly naměřeny ve všech měřeních. Textové soubory reportů proběhlých měření jsou uvedeny v přílohách. Tyto výsledky byly dne 2.5.2011 ve 18:00 hod. dále ověřeny ethernet analyzátozem EXFO FTB-8510G, který naměřené výsledky potvrdil. Výsledné reporty z obou měřících zařízeních jsou uvedeny v příloze C.

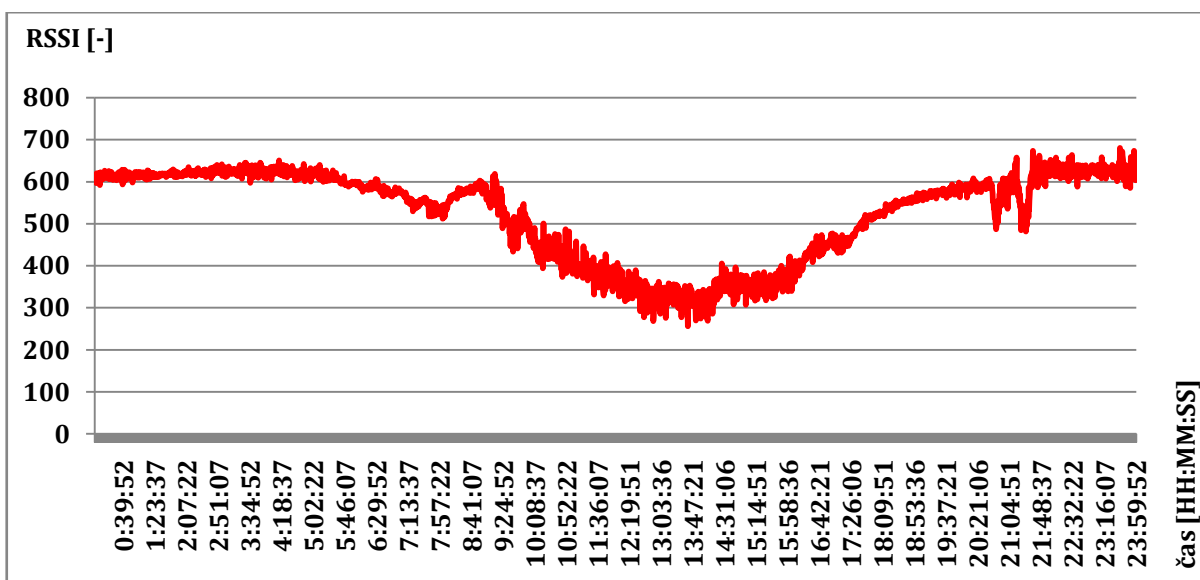
Bohužel, v měřeném časovém období se neprojevovaly nevhodné přenosové podmínky jako např. mlha, pro otestování funkčnosti i při takových podmínkách.

8.2. Měření kvality přijímaného signálu hlavice

Použitá optická bezvláknová hlavice MRV TS5000G umožňuje zápis přijatého optického výkonu a ukládání těchto hodnot do paměti. RSSI je bezrozměrná veličina pro měření kvality přijímaného signálu. Hodnota RSSI by pro bezvláknovou hlavici TS5000G měla být minimálně 100 a maximálně 1000.

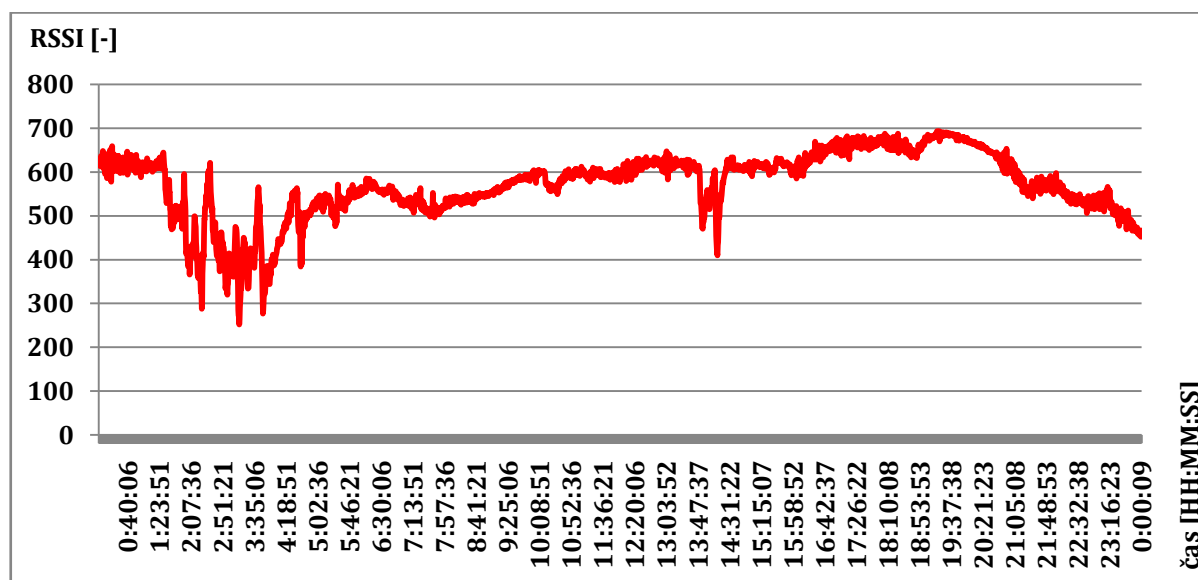


Graf 8.1: Kvalita signálu dne 22.4. 2011

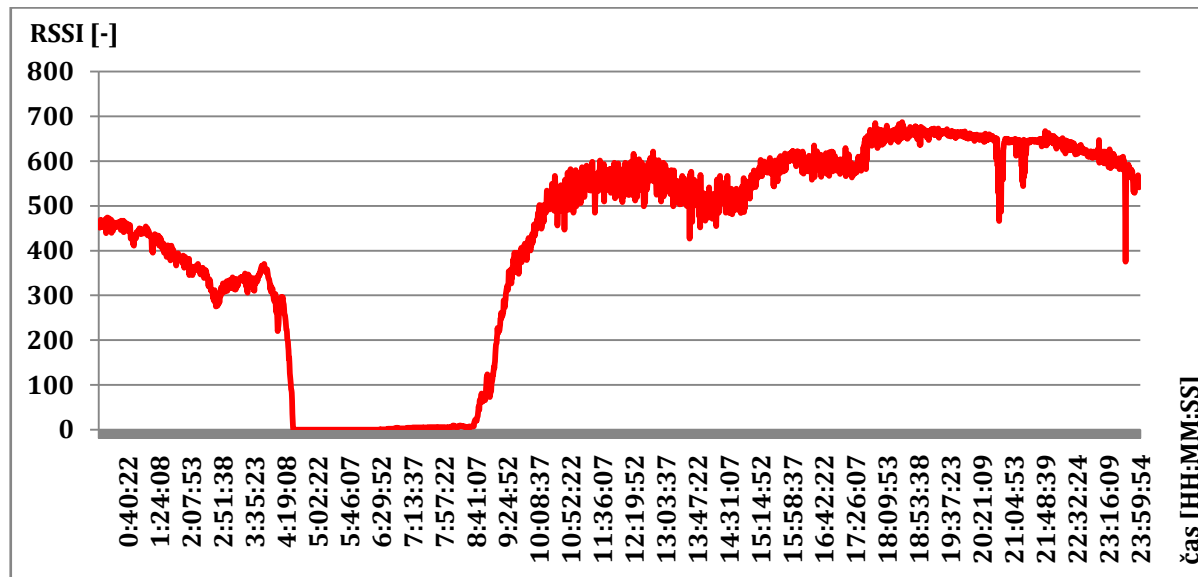


Graf 8.2: Kvalita signálu dne 23.4. 2011

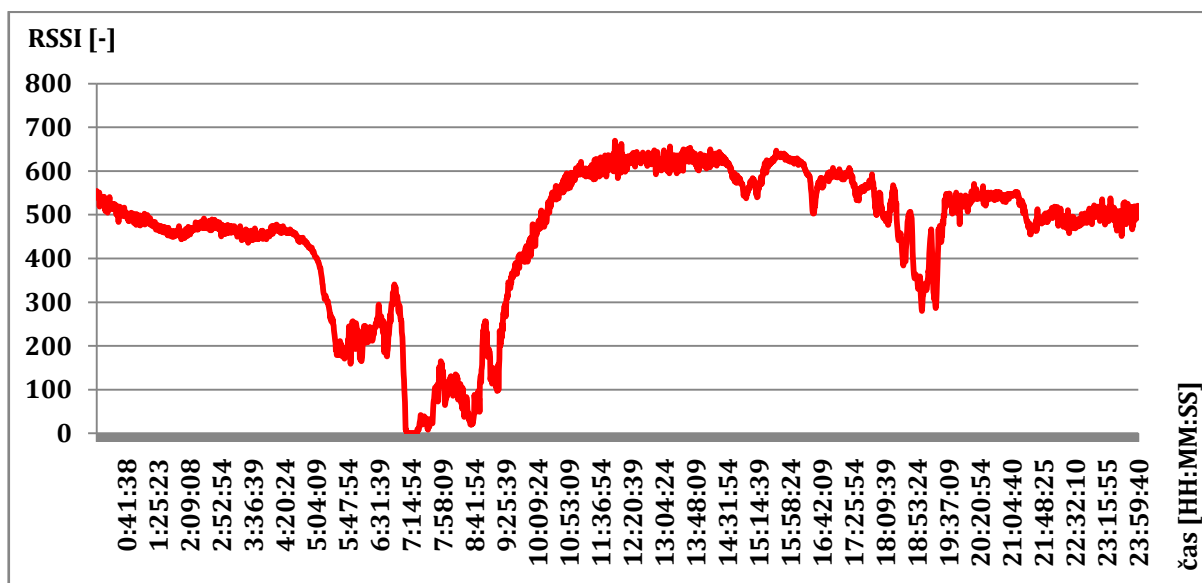
Podle grafu 8.1 a 8.2 by se dalo konstatovat, že v nočních hodinách se kvalita přijímaného signálu téměř nemění a pohybuje se okolo RSSI = 600. Avšak na ostatních grafech (8.3 až 8.6) jsou znatelné velké výchylky jak během denních, tak nočních hodin. Navíc, na grafech 8.4, 8.5 a 8.6 jsou viditelné úplné výpadky přijímaného signálu hlavice. To je pravděpodobně způsobeno výpadky elektrického proudu v postižených hodinách.



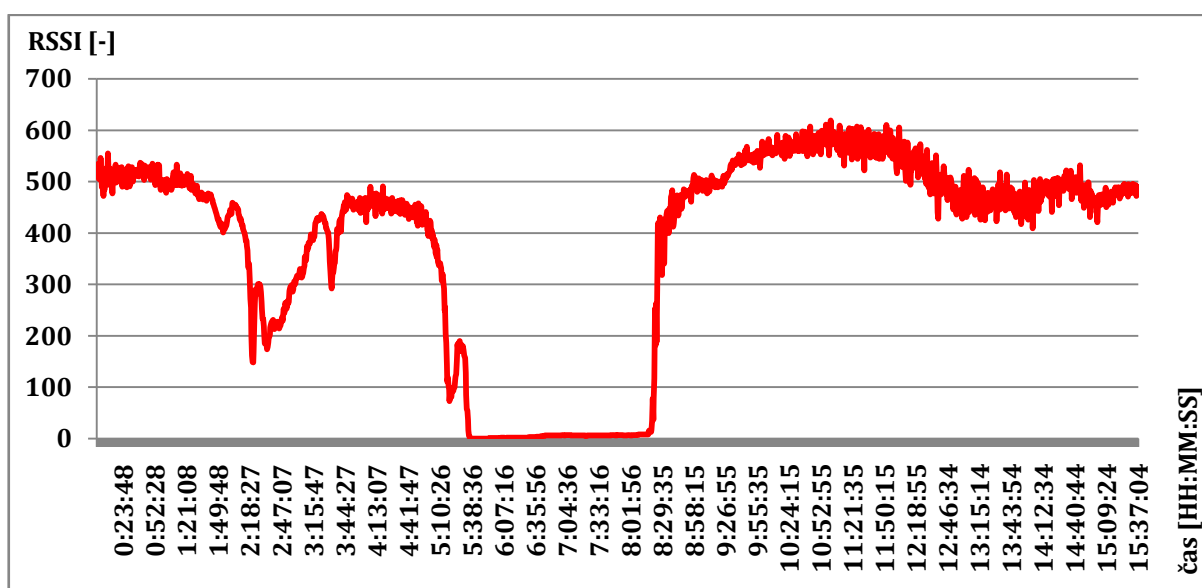
Graf 8.3: Kvalita signálu dne 24.4.2011



Graf 8.4: Kvalita signálu dne 25.4.2011



Graf 8.5: Kvalita signálu dne 26.4.2011



Graf 8.6: Kvalita signálu dne 27.4.2011

9. Závěr

Tato bakalářská práce se věnovala optickým technologiím, konkrétně optickým bezvláknovým spojům. První část práce se soustředila na vybudování infrastruktury pro instalaci optických hlavice. To zahrnovalo natažení jednovlákenného optického kabelu, dvojice UTP kabelů a napájení ze serverové místnosti do rozvaděče. Trasa je dlouhá přibližně 65 metrů. Vzhledem k tomu, že došlo ke změnám v původním projektu, byl dodaný optický kabel krátký abylo tedy nutné svařováním tento kabel nadstavit. Zakončení kabelu je na obou koncích trasy provedeno do kazet. Kvalita celé trasy byla na závěr proměřena optickým reflektometrem OTDR.

V druhé části práce bylo cílem vytvořit zařízení, které by bylo schopno proměřit průřez optického svazku. Zařízení se skládá ze sestavy firmy Festo pro pohyb ve dvou osách, které slouží jako základ zařízení. Jelikož bylo toto zařízení v době dovezení na školu nefunkční, bylo pro základní funkci nutné propojit řídicí jednotky, krokové motory, napájení a další specifické rozhraní. Poté došlo k otestování zařízení pomocí počítače a dodávané aplikace, ve které byly nastaveny důležité parametry zařízení. V dalším kroku této části práce byla vytvořena aplikace pro měření, která umožňuje měření optického výkonu po průřezu svazku. Tato aplikace je navržena s ohledem na jednoduchost a přímoučarost uživatelského rozhraní. Celá aplikace byla vypracována v prostředí MATLAB R2009a. V aplikaci se nejdříve nastaví parametry měření jako požadovaný krok, vlnová délka apod. Po spuštění měření zařízení projíždí v osách 2D prostor a se zadaným krokem zaznamenává hodnotu optického výkonu z měřiče optického výkonu a ukládá si tyto hodnoty do matice. Jakmile přístroj dokončí měření vygeneruje z této matice 3D graf. Vzhledem k umístění hlavice na střeše bylo nutné vyrobit pevné rameno, které by tvarem zabíhalo před optickou hlavici. Kvůli venkovním podmínkám bylo také nutné vyrobit kryt napájecích zdrojů a řídicích jednotek pro základní ochranu před vnějšími vlivy. Součástí této části práce bylo také samotné proměření přijímaného optického svazku z budovy hvězdárny. Při měření bylo zjištěno, že měření velmi ovlivňuje parazitní (sluneční) světlo a s technikou používanou v našem měření nebylo možné toto záření odfiltrovat. Měření tedy probíhalo zejména v nočních hodinách. Z důvodu pozdní instalace optických hlavice bohužel nebylo vykonáno více měření, které by ukázaly tvar svazku při různých atmosférických podmínkách.

Třetí část práce je věnována proměření bitové chybovosti a parametrů RFC 2455 vytvořeného optického bezdrátového spoje mezi rektorátem VŠB-TUO a hvězdárnou. Jelikož byla hlavice na budově hvězdárny nastavena do režimu „Loopback“ bylo původním záměrem měřit bitovou chybovost vysíláním dat do hlavice na budově rektorátu a poté přijímat data zpět. Tento postup však s použitým měřicím zařízením EXFO AXS 200/850 nebyl možný, proto došlo k přepnutí hlavice na budově hvězdárny do režimu „Normal“ a k této hlavici byla připojena Loopback jednotka AEN-1000GE. Poté byla proměřena bitová chybovost měřením BERT a další důležité parametry měřením RFC 2544 v několika dnech. Měřicí zařízení EXFO AXS 200/850 navíc umožňovalo vzdálený přístup pomocí VNC, čehož bylo po připojení do školní sítě využito. Měřením bylo zjištěno, že měřená optická bezvláknová trasa nemá téměř žádnou bitovou chybovost a také naměřené parametry byly vynikající. Naměřené výsledky měření byly způsobeny pravděpodobně obdobím, ve kterém bylo měřeno, protože v dané dny nedocházelo k výrazným nepříznivým vlivům (mlhám, silným deštům, sněžením apod.). Naměřené parametry trasy byly ověřeny potvrzeny měřicím zařízením EXFO FTB-8510G.

V budoucí diplomové práci by bylo vhodné zpracovat rozsáhlejší statistiku bitové chybovosti a dalších parametrů spoje při různém počasí. Dalším bodem práce by mohlo být omezení vlivů parazitního světla při měření optického výkonu po průřezu svazku.

10. Seznam použité literatury

- [1] KULHAVÝ, Karel. *Root.cz* [online]. 2002-11-05 [cit. 2011-02-18]. Bezvláknová optika. Dostupné z WWW: <<http://www.root.cz/clanky/bezvlaknova-optika/>>. [webová stránka]
- [2] CÍSAŘ, David. *Vliv atmosférických turbulencí na intenzitní profil laserového svazku*. Brno, 2009. 42 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. [akademická práce]
- [3] BÁRTA, Miroslav. *Vliv atmosférických turbulencí na optický svazek*. Brno, 2009. 92 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. [akademická práce]
- [4] LÁTAL, Jan; KOUDELKA, Petr; VITÁSEK, Jan. *Měření vlivu velikosti překážek na přenos optickým pojítkem*. *Elektrorevue* [online]. 6.6.2010, 2010/39, [cit. 2011-03-25]. Dostupný z WWW: <<http://elektrorevue.cz/cz/download/mereni-vlivu-velikosti-prekazek-na-prenos-optickym-pojitkem/>>. [e-článek]
- [5] ŠÁLA, Jakub. *Bezdrátový optický spoj*. Brno, 2010. 70 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. [akademická práce]
- [6] KOLKA, Zdenek; WILFERT, Otakar; BIOLKOVA, Viera. Reliability of Digital FSO Links in Europe. *International Journal of Electrical and Computer Engineering* [online]. 2007, 12, [cit. 2011-04-08]. Dostupný z WWW: <<http://www.waset.org/journals/ijece/v2/v2-12-117.pdf>>. [e-článek]
- [7] POKORNÝ, Aleš. *Analýza fluktuací a šumů v atmosférických optických spojkách*. Brno, 2008. 56 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. [akademická práce]
- [8] ŠPORIK, Jan. *Bezdrátový optický spoj v sítích LAN a MAN*. Brno, 2009. 90 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. [akademická práce]
- [9] DORDOVA, Lucie; WILFERT, Otakar. Volume of Atmospheric Turbulences Evaluation on the Basis of the Turbulent Area Quantification. *Proceedings of the 14th Conference on Microwave Techniques Comite 2008*. 2008, 1, s. 325-328. [článek]
- [10] DORDOVA, Lucie; WILFERT, Otakar. Comparison of Turbulent Attenuation Determined. *CLEO/Pacific Rim 2009* [online]. 2009, 1, [cit. 2011-04-23]. Dostupný z WWW: <<http://bit.ly/e0Hnq9>>. ISBN 978-1-4244-3829-7.
- [11] ŽÁK, Ondřej. *Vliv útlumu optického vlákna na přenosovou kapacitu optických tras*. Brno, 2009. 78 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. [akademická práce]
- [12] FRANC, Jan. *Metody měření přenosových rychlostí*. Brno, 2008. 42 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. [akademická práce]
- [13] BUDÍKOVÁ, Marie. Aplikace robustní vážené lokální regrese na teplotní časové řady. *Sborník ROBUST 92*. 1992, -, s. 21-30. Dostupný také z WWW: <http://www.statapol.cz/robust/1992_budiko92.pdf>.

Seznam použitých symbolů

A	Měrný útlum [dB/km]
C_n^2	Strukturní parametr indexu lomu [$m^{-2/3}$]
$F(\Theta)$	Funkce úhlu pozorování [-]
I	Elektrický proud [A]
I_f	Výstupní proud fotodiody [A]
I_O	Intenzita ve středu svazku [W/m^2]
I_{th}	Prahový proud [A]
I_Θ	Intenzita světla rozptýleného jednou částicí pod úhlem Θ [W/m^2]
k	Optické vlnové číslo [m^{-1}]
L	Vzdálenost mezi hlavicemi [m]
n	Index lomu prostředí [-]
N_e	Počet elektronů [-]
N_p	Počet fotonů [-]
P	Optický výkon [W]
R	Citlivost fotodiody [$A.W^{-1}$]
r	Vzdálenost detektoru intenzity [m]
$R(z)$	Poloměr křivosti [m]
t	Čas [s]
V_M	Meteorologická viditelnost [m]
$w(z)$	Poloměr svazku – přijímač [m]
w_0	Poloměr svazku – vysílač [m]
z	Axiální vzdálenost od krčku svazku [m]
z_0	Rayleighova vzdálenost [m]
$\alpha_{l,atm}$	Koeficient útlumu [dB/km]
α_{abs}	Koeficient rozptylu na molekulách [dB]
α_e	Koeficient absorpce na molekulách [dB]
α_{fluct}	Koeficient poklesu intenzity vlivem fluktuací [dB]
α_{fluct}	Útlum způsobený turbulencemi [dB]
$\alpha_{s,m}$	Koeficient rozptylu - Rayleighův rozptyl [dB]
$\alpha_{s,p}$	Koeficient rozptylu - Mieův rozptyl [dB]
ϵ_0	Permitivita vakua ($8,85419 \cdot 10^{-12}$) [$C^2 J^{-1} m^{-1}$]
η	Kvantová účinnost [-]
Θ	Úhel divergence [rad]
λ	Vlnová délka [m]
π	Ludolfovo číslo [-]
ρ	Radiální vzdálenost od optické osy svazky [m]

Seznam použitých obrázků

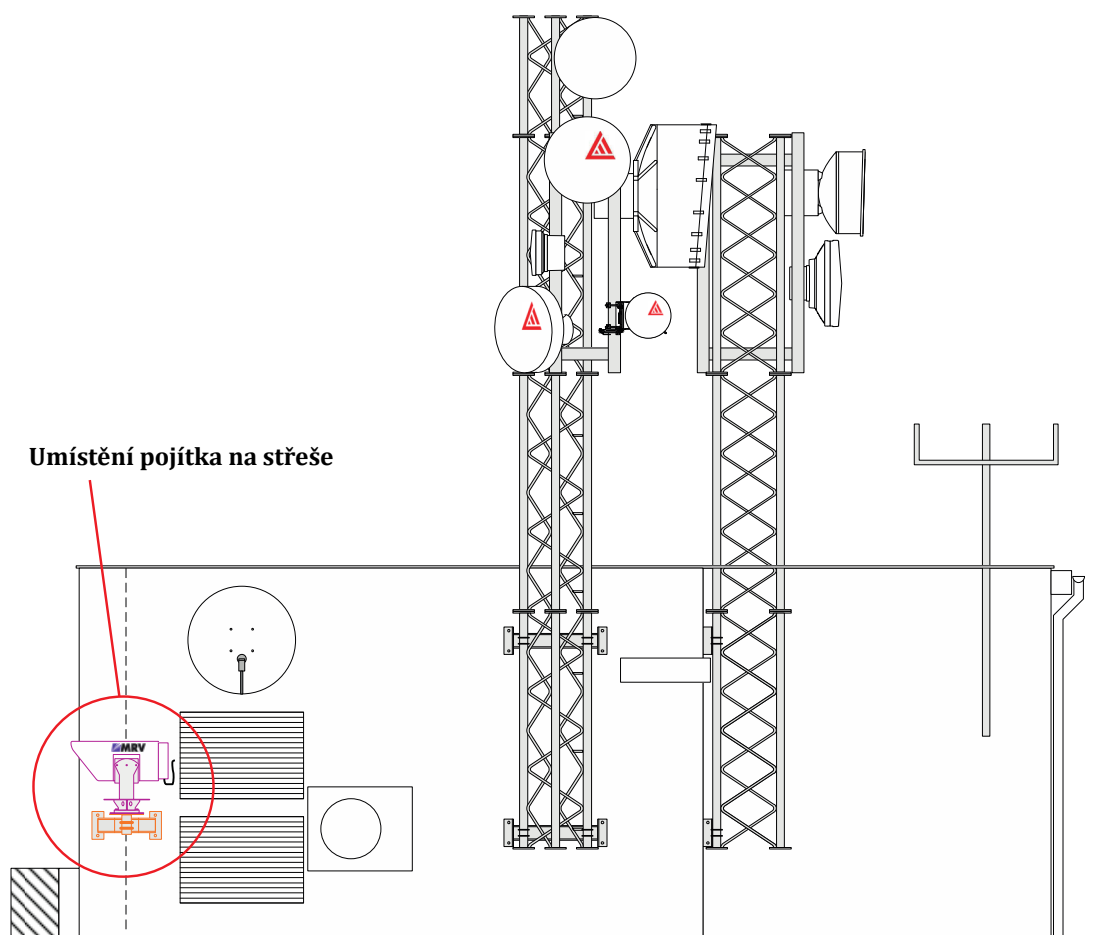
Obr. 2.1: Schéma optického bezvláknového spoje	8
Obr. 3.1: Průřez bezvláknovou optickou hlavicí.....	10
Obr. 3.2: Spektrální charakteristika LD a LED diody.....	11
Obr. 3.3: Závislost proudu na světelném výkonu.....	12
Obr. 3.4: Modulace OOK.....	13
Obr. 3.5: Ploskovypuklá čočka a achromatická dvojice čoček	14
Obr. 3.6: Laserová dioda s kruhovým (a) nebo eliptickým (b) vyzařováním	15
Obr. 3.7: Zjednodušené schéma přenosu optického signálu přes optiku hlavic.....	15
Obr. 4.1: Profil Gaussova svazku.....	16
Obr. 4.2: Ekvivalentní Gaussův, Top hat a okrajový svazek	18
Obr. 5.1: Složení atmosféry	19
Obr. 5.2: Spektrální závislost propustnosti atmosféry v jasném a klidném prostředí	20
Obr. 5.3: Spektrální charakteristika Rayleighova rozptylu [11]	21
Obr. 5.4: Směrovost Rayleighova rozptylu.....	21
Obr. 5.5: Směrovost Mieova rozptylu.....	22
Obr. 6.1: Použitá optická bezvláknová hlavice MRV TS5000G	25
Obr. 6.2: Zakončení optického kabelu v rozvaděči.....	26
Obr. 6.3: Půdorys 10. patra rektorátu VŠB – vedení kabelů.....	27
Obr. 6.4: Mapa s body realizovaného optického bezvláknového spoje	28
Obr. 6.5: Náměr trasy pomocí OTDR – vlákno A (puls: 0,5 m; $\lambda = 1310$ nm)	29
Obr. 6.6: Náměr trasy pomocí OTDR – vlákno A (puls: 0,5 m; $\lambda = 1550$ nm)	29
Obr. 6.7: Náměr trasy pomocí OTDR – vlákno B (puls: 0,5 m; $\lambda = 1310$ nm).....	30
Obr. 6.8: Náměr trasy pomocí OTDR – vlákno B (puls: 0,5 m; $\lambda = 1550$ nm).....	30
Obr. 7.1: Sestava měřicího zařízení	31
Obr. 7.2: Základní zapojení soustavy měřicího zařízení.....	32
Obr. 7.3: Spodní část řídicí jednotky s konektory pro připojení k motoru.....	33
Obr. 7.4: Vrchní část řídicí jednotky s konektory	33
Obr. 7.5: Měřič optického výkonu PM 120	36
Obr. 7.6: Grafické rozhraní aplikace pro měření	37
Obr. 7.7: Příklad měřicího rastru pro krok 40 mm.....	38
Obr. 7.8: Rozhraní aplikace Festo Configuration Tool.....	41
Obr. 7.9: Sledování provozu na sériové lince	42

Obr. 7.10: Detektor optického výkonu umístěný ve stínící trubce.....	43
Obr. 7.11: Nastavení nástroje sftool při vyhlazení naměřeného svazku	48
Obr. 8.1: Schéma propojení prvků při měření se zařízením EXFO	51
Obr. 8.2: Obecné nastavení a nastavení toku při měření bitové chybovosti	51
Obr. 8.3: Celkový přehled a detailní výsledky po měření bitové chybovosti	51
Obr. 8.4: Záznamy výpadcích spojení a kolísání po měření bitové chybovosti.....	52
Obr. 8.5: Obecné nastavení při měření RFC 2544	53
Obr. 8.6: Nastavení propustnosti a back-to-back při měření RFC 2544	53
Obr. 8.7: Nastavení ztrátovosti rámců a zpoždění při měření RFC 2544	54
Obr. 8.8: Celkové hodnocení měření a výsledky propustnosti po měření RFC 2544 dne 29.4.2011 ve 21:00 hod.....	54
Obr. 8.9: Výsledky měření back-to-back a ztráty rámců po měření RFC 2544 dne 29.4.2011 ve 21:00 hod.....	55
Obr. 8.10: Výsledky měření zpoždění a graf propustnosti po měření RFC 2544 dne 29.4.2011 ve 21:00 hod.....	55

Seznam použitých tabulek a grafů

Tab. 5.1: Závislost parametru q na viditelnosti V_M	23
Tab. 5.2: Závislost parametru viditelnosti V_M na stavu atmosféry	23
Tab. 5.3: Vliv turbulence na strukturní parametr indexu lomu	24
Tab. 6.1: Specifikace použité laserové hlavičky	25
Graf 7.1: Optický výkon naměřený dne 16.4.2011 ve 14:00 hod.	43
Graf 7.2: Optický výkon naměřený dne 16.4.2011 ve 22:00 hod.	44
Graf 7.3: Optický výkon naměřený dne 19.4.2011 ve 20:00 hod.	45
Graf 7.4: Optický výkon naměřený dne 20.4.2011 ve 21:00 hod.	45
Graf 7.5: Optický výkon naměřený dne 21.4.2011 ve 21:00 hod.	46
Graf 7.6: Optický výkon naměřený dne 25.4.2011 ve 21:00 hod.	47
Graf 7.7: Proložený optický výkon naměřený dne 25.4.2011 ve 21:00 hod.	49
Graf 8.1: Kvalita signálu dne 22.4. 2011	56
Graf 8.2: Kvalita signálu dne 23.4.2011	56
Graf 8.3: Kvalita signálu dne 24.4.2011	57
Graf 8.4: Kvalita signálu dne 25.4.2011	57
Graf 8.5: Kvalita signálu dne 26.4.2011	58
Graf 8.6: Kvalita signálu dne 27.4.2011	58

Příloha A – Realizace infrastruktury



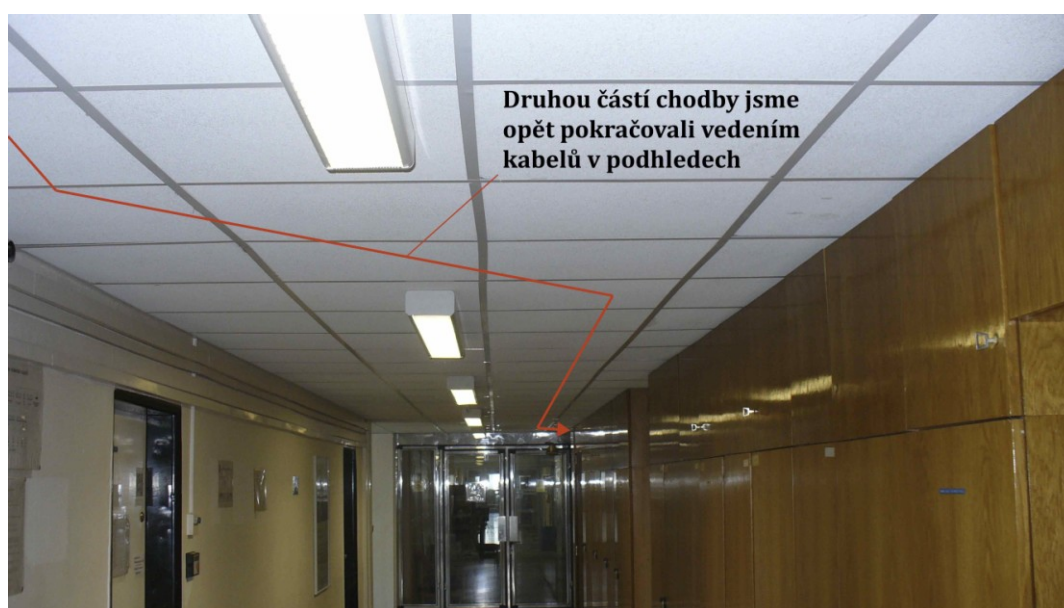
Obr. A.1: Umístění laserové hlavy na střeše budovy



Obr. A.2: Umístění rozvaděče a kabelů nad schodištěm



Obr. A.3: Vedení kabelů chodbou podhledy



Obr. A.4: Vedení kabelů podhledy



Obr. A.5: Vedení kabelů pod podlahou učebny, místo svařování

OTDR náměr vlákno 1 (A) – 1310 nm, puls 0,5m:

Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ poruchy	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Mer.útl. (dB/km)	Kumul. (dB)
1	0.0000	Úroveň navázání	---	-75.8		0.000
2	0.5026	Vláknový úsek (0.5026 km) Událost s odrazem	0.216 0.447	-60.4	0.429	0.216 0.662
3	0.5079	Vláknový úsek (0.0052 km) Splývající událost	0.009 1.048	-51.9 -51.9	1.700	0.671 1.719
4	0.5079			-54.7		
4	0.5847	Vláknový úsek (0.0768 km) Událost s odrazem	0.019 ---	>-21.7	0.250	1.738 1.738

Inf. o značkách

A	: 0.0102 km, 13.487 dB	B	: 0.0246 km, 13.320 dB
a	: 0.0102 km, 13.474 dB	b	: 0.1305 km, 13.231 dB
Vzdálenost A>B	: 0.0144 km, 0.167 dB	ORL A->B	: 58.25 dB
Odrazivost 3bodove	: *****	Útlum AB (LSA)	: 15.341 dB/km
Ztráta 4bodove	: 0.186 dB		

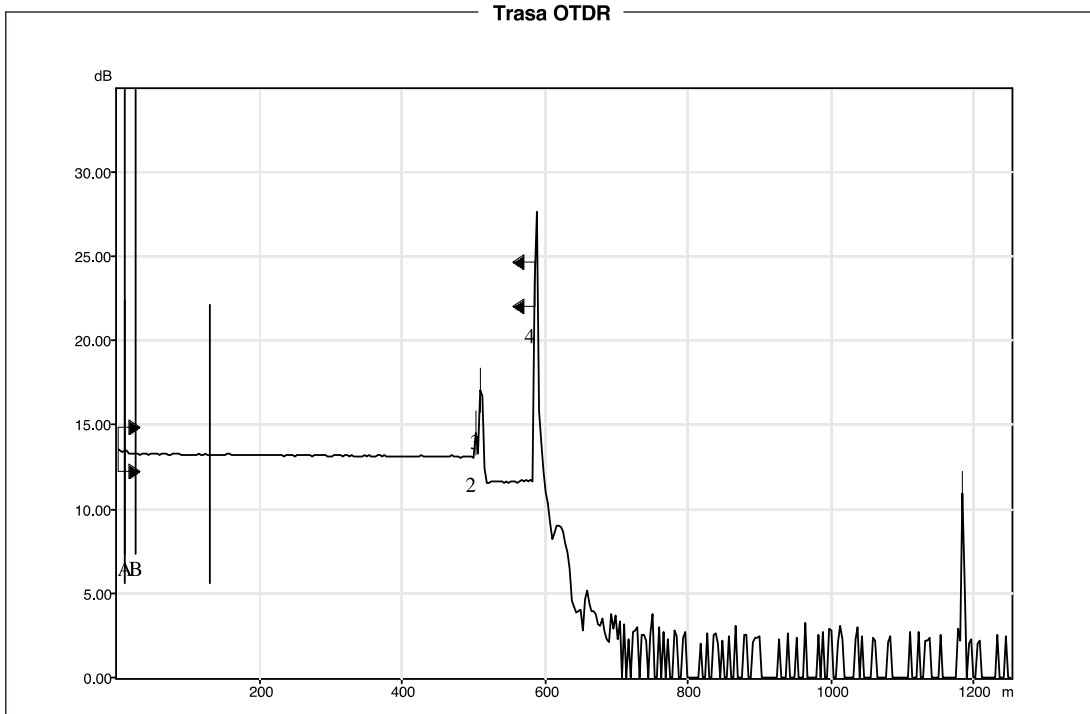
Nastavení měření a kabelu

Vlnová délka	: 1310 nm (SM-9μm)	Doba sberu dat	: 45 s
Jméno souboru	: 1_puls_0,5.trc	Šířka pulzu	: 0.5 m
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Kabelový faktor	: 0.00 %
Sériové číslo	: 422810	Limit ztráty spojení	: 0.020 dB
Software	: OTDR Rozšířený 6.14.19.221	Limit odrazivosti	: -72.0 dB
Rozsah	: 1.2500 km	Limit konce vlákna	: 3.000 dB
IOR	: 1.467700		
RBS	: -79.44		

Měření trasy

Ztráta trasy	: 1.738 dB	Průměrný ztráta svaru	: ---
Rozpetí	: 0.5847 km	Max. ztráta spojení	: ---
Průměrná ztráta	: 2.973 dB/km	ORL trasy	: <20.97 dB

Trasa OTDR



OTDR náměr vlákno 1 (A) – 1550 nm, puls 0,5m:

Tabulka poruch

Císlo	Pozice (km)	Typ poruchy	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Mer.útl. (dB/km)	Kumul. (dB)
1	0.0000	Úroveň navázání	---	-72.5		0.000
		Vláknový úsek (0.5026 km)	0.101		0.200	0.101
2	0.5026	Událost s odrazem	0.408	-62.5		0.508
		Vláknový úsek (0.0052 km)	0.008		1.500	0.516
3	0.5078	Událost s odrazem	-0.349	-52.9		0.167
		Vláknový úsek (0.0031 km)	0.000		0.100	0.167
4	0.5108	Událost s odrazem	1.770	-57.2		1.938
		Vláknový úsek (0.0738 km)	0.033		0.446	1.970
5	0.5846	Událost s odrazem	---	>19.8		1.970

Inf. o znacích

A	: 0.0102 km, 11.425 dB	B	: 0.0246 km, 11.125 dB
a	: 0.0102 km, 11.442 dB	b	: 0.1305 km, 11.467 dB
Vzdálenost A>B	: 0.0144 km, 0.300 dB	ORL A->B	: 60.57 dB
Odrazivost 3bodove	: *****	Útlum AB (LSA)	: 9.682 dB/km
Ztráta 4bodove	: 0.184 dB		

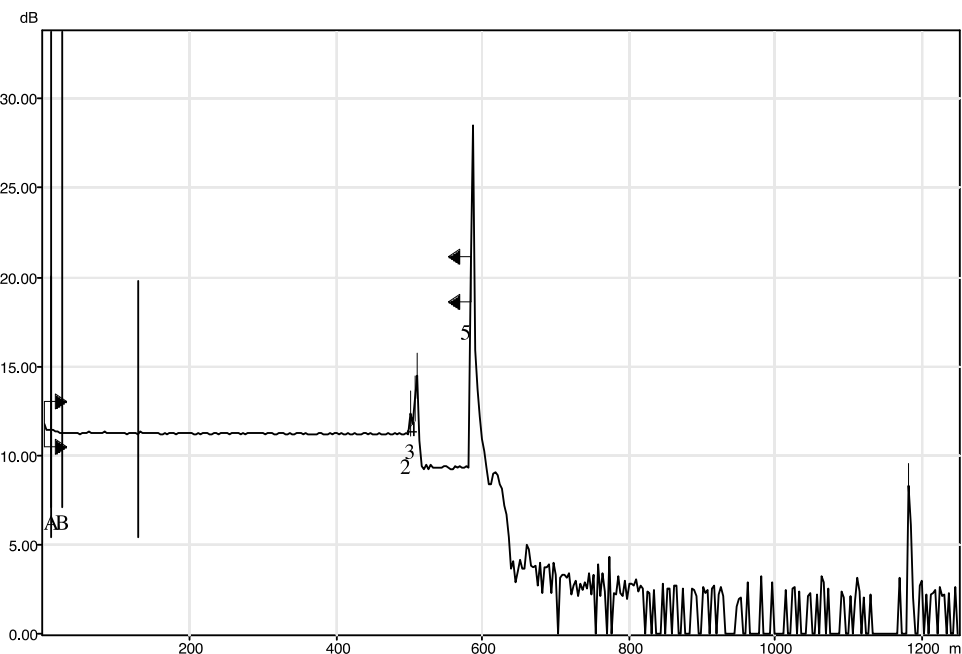
Nastavení měření a kabelu

Vlnová délka	: 1550 nm (SM-9μm)	Doba sberu dat	: 45 s
Jméno souboru	: 1_puls_0,5.trc	Šírka pulzu	: 0.5 m
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Kabelový faktor	: 0.00 %
Sériové číslo	: 422810	Limit ztráty spojení	: 0.020 dB
Software	: OTDR Rozšířený 6.14.19.221	Limit odrazivosti	: -72.0 dB
Rozsah	: 1.2500 km	Limit konce vlákna	: 3.000 dB
IOR	: 1.468325		
RBS	: -81.87		

Měření trasy

Ztráta trasy	: 1.970 dB	Průměrný ztráta svaru	: ---
Rozpetí	: 0.5846 km	Max. ztráta spojení	: ---
Průměrná ztráta	: 3.371 dB/km	ORL trasy	: <20.39 dB

Trasa OTDR



OTDR náměr vlákno 2 (B) – 1310 nm, puls 0,5m:

Tabulka poruch

Císlo	Pozice (km)	Typ poruchy	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Mer.útl. (dB/km)	Kumul. (dB)
1	0.0000	Úroveň navázání	---	-75.7		0.000
		Vláknový úsek (0.5026 km)	0.212		0.423	0.212
2	0.5026	Událost s odrazem	0.455	-60.4		0.668
		Vláknový úsek (0.0052 km)	0.009		1.700	0.677
3	0.5079	Splyvající událost	1.040	-44.1		1.717
	0.5079			-52.1		
				-44.1		
		Vláknový úsek (0.0519 km)	0.079		1.521	1.796
4	0.5598	Zisková událost	-0.342			1.453
		Vláknový úsek (0.0253 km)	0.043		1.700	1.496
5	0.5851	Událost s odrazem	---	>-22.3		1.496

Inf. o značkách

A	: 0.0102 km, 13.525 dB	B	: 0.0246 km, 13.247 dB
a	: 0.0102 km, 13.512 dB	b	: 0.1305 km, 13.166 dB
Vzdálenost A>B	: 0.0144 km, 0.278 dB	ORL A->B	: 58.35 dB
Odrazivost 3bodove	: *****	Útlum AB (LSA)	: 17.824 dB/km
Ztráta 4bodove	: 0.243 dB		

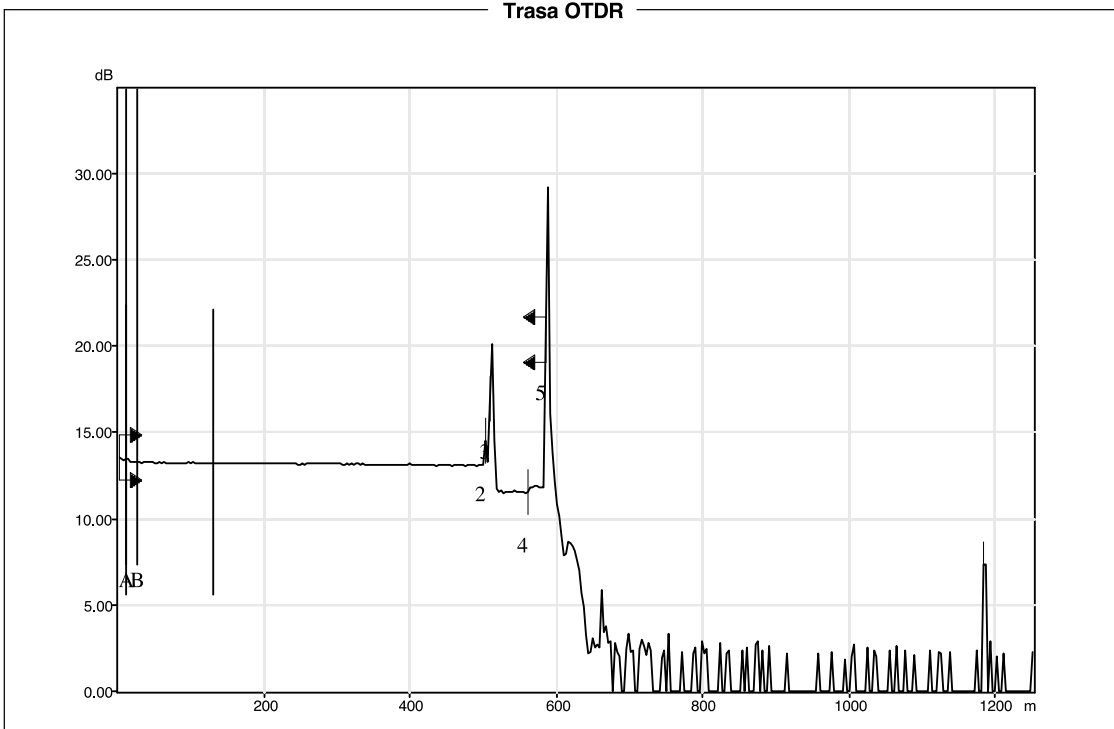
Nastavení měření a kabelu

Vlnová délka	: 1310 nm (SM-9μm)	Doba sberu dat	: 45 s
Jméno souboru	: 2_puls_0,5.pdf.trc	Šířka pulzu	: 0.5 m
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Kabelový faktor	: 0.00 %
Sériové číslo	: 422810	Limit ztráty spojení	: 0.020 dB
Software	: OTDR Rozšířený 6.14.19.221	Limit odrazivosti	: -72.0 dB
Rozsah	: 1.2500 km	Limit konce vlákna	: 3.000 dB
IOR	: 1.467700		
RBS	: -79.44		

Měření trasy

Ztráta trasy	: 1.496 dB	Průměrný ztráta svaru	: -0.342 dB
Rozpetí	: 0.5851 km	Max. ztráta spojení	: -0.342 dB
Průměrná ztráta	: 2.558 dB/km	ORL trasy	: <21.44 dB

Trasa OTDR



OTDR náměr vlákno 2 (B) – 1550 nm, puls 0,5m:

Tabulka poruch

Císlo	Pozice (km)	Typ poruchy	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Mer.útl. (dB/km)	Kumul. (dB)
1	0.0000	Úroveň navázání	---	-73.4		0.000
		Vláknový úsek (0.5026 km)	0.117		0.232	0.117
2	0.5026	Událost s odrazem	0.334	-62.5		0.450
		Vláknový úsek (0.0052 km)	0.008		1.500	0.458
3	0.5078	Událost s odrazem	-0.164	-53.6		0.294
		Vláknový úsek (0.0030 km)	0.000		0.100	0.294
4	0.5107	Událost s odrazem	1.154	-41.8		1.448
		Vláknový úsek (0.0743 km)	0.007		0.100	1.455
5	0.5850	Událost s odrazem	---	>21.2		1.455

Inf. o značkách

A	: 0.0102 km, 11.209 dB	B	: 0.0246 km, 11.080 dB
a	: 0.0102 km, 11.330 dB	b	: 0.1305 km, 10.907 dB
Vzdálenost A>B	: 0.0144 km, 0.129 dB	ORL A->B	: 60.27 dB
Odrazivost 3bodove	: *****	Útlum AB (LSA)	: 7.761 dB/km
Ztráta 4bodove	: 0.121 dB		

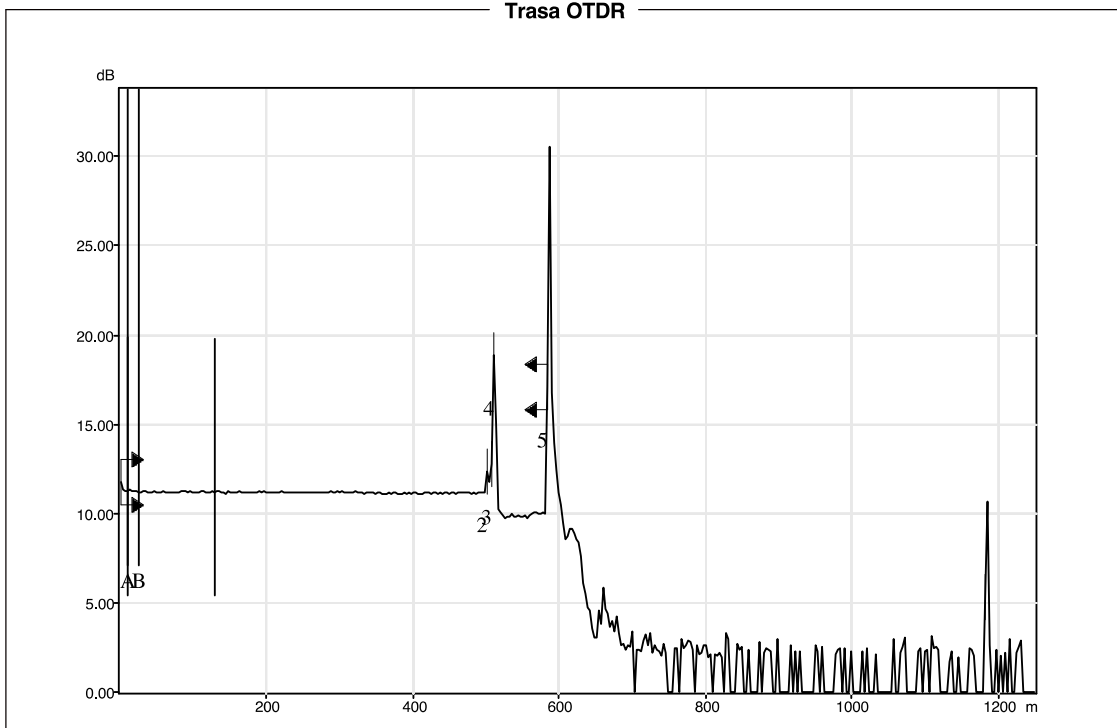
Nastavení měření a kabelu

Vlnová délka	: 1550 nm (SM-9μm)	Doba sberu dat	: 45 s
Jméno souboru	: 2_puls_0.5.pdf.trc	Šířka pulzu	: 0.5 m
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Kabelový faktor	: 0.00 %
Sériové číslo	: 422810	Limit ztráty spojení	: 0.020 dB
Software	: OTDR Rozšířený 6.14.19.221	Limit odrazivosti	: -72.0 dB
Rozsah	: 1.2500 km	Limit konce vlákna	: 3.000 dB
IOR	: 1.468325		
RBS	: -81.87		

Měření trasy

Ztráta trasy	: 1.455 dB	Průměrný ztráta svaru	: ---
Rozpetí	: 0.5850 km	Max. ztráta spojení	: ---
Průměrná ztráta	: 2.488 dB/km	ORL trasy	: <20.04 dB

Trasa OTDR



OTDR náměr vlákno 3 – 1310 nm, puls 0,5m:

Tabulka poruch

Císlo	Pozice (km)	Typ poruchy	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Mer.útl. (dB/km)	Kumul. (dB)
1	0.0000	Úroveň navázání	---	-76.2		0.000
		Vláknový úsek (0.5026 km)	0.220		0.437	0.220
2	0.5026	Událost s odrazem	0.389	-60.3		0.609
		Vláknový úsek (0.0052 km)	0.009		1.700	0.618
3	0.5079	Splývající událost	0.683	-52.8		1.301
	0.5079			-52.8		
				-59.3		
		Vláknový úsek (0.0512 km)	0.038		0.735	1.338
4	0.5590	Zisková událost	-0.302			1.036
		Vláknový úsek (0.0246 km)	0.006		0.250	1.042
5	0.5837	Událost s odrazem	---	-56.0		1.042

Inf. o značkách

A	: 0.0102 km, 13.458 dB	B	: 0.0246 km, 13.262 dB
a	: 0.0102 km, 13.476 dB	b	: 0.1305 km, 13.221 dB
Vzdálenost A>B	: 0.0144 km, 0.196 dB	ORL A->B	: 58.27 dB
Odrazivost 3bodove	: *****	Útlum AB (LSA)	: 16.154 dB/km
Ztráta 4bodove	: 0.223 dB		

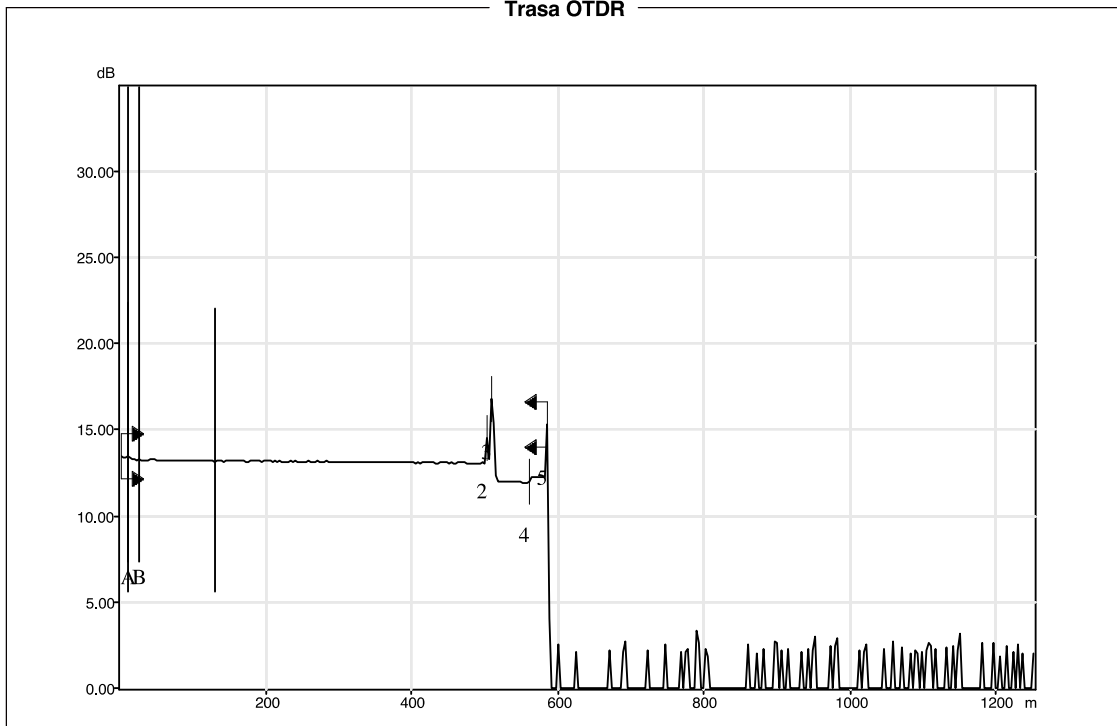
Nastavení měření a kabelu

Vlnová délka	: 1310 nm (SM-9μm)	Doba sberu dat	: 45 s
Jméno souboru	: 3_puls_0,5.trc	Šírka pulzu	: 0.5 m
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Kabelový faktor	: 0.00 %
Sériové číslo	: 422810	Limit ztráty spojení	: 0.020 dB
Software	: OTDR Rozšířený 6,14,19,221	Limit odrazivosti	: -72.0 dB
Rozsah	: 1.2500 km	Limit konce vlákna	: 3.000 dB
IOR	: 1.467700		
RBS	: -79.44		

Měření trasy

Ztráta trasy	: 1.042 dB	Průměrný ztráta svaru	: -0.302 dB
Rozpetí	: 0.5837 km	Max. ztráta spojení	: -0.302 dB
Průměrná ztráta	: 1.786 dB/km	ORL trasy	: 41.83 dB

Trasa OTDR



OTDR náměr vlákno 3 – 1550 nm, puls 0,5m:

Tabulka poruch

Císlo	Pozice (km)	Typ poruchy	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Mer.útl. (dB/km)	Kumul. (dB)
1	0.0000	Úroveň navázání	---	-73.0		0.000
		Vláknový úsek (0.5026 km)	0.125		0.249	0.125
2	0.5026	Událost s odrazem	0.047	-62.5		0.172
		Vláknový úsek (0.0052 km)	0.008		1.500	0.180
3	0.5078	Splývající událost	0.884	-54.4		1.064
	0.5078			-54.4		
				-60.7		
		Vláknový úsek (0.0758 km)	0.008		0.100	1.071
4	0.5836	Událost s odrazem	---	-57.7		1.071

Inf. o značkách

A	: 0.0102 km, 11.311 dB	B	: 0.0246 km, 11.349 dB
a	: 0.0102 km, 11.337 dB	b	: 0.1305 km, 11.259 dB
Vzdálenost A>B	: 0.0144 km, -0.038 dB	ORL A->B	: 60.43 dB
Odrazivost 3bodove	: *****	Útlum AB (LSA)	: 11.177 dB/km
Ztráta 4bodove	: 0.105 dB		

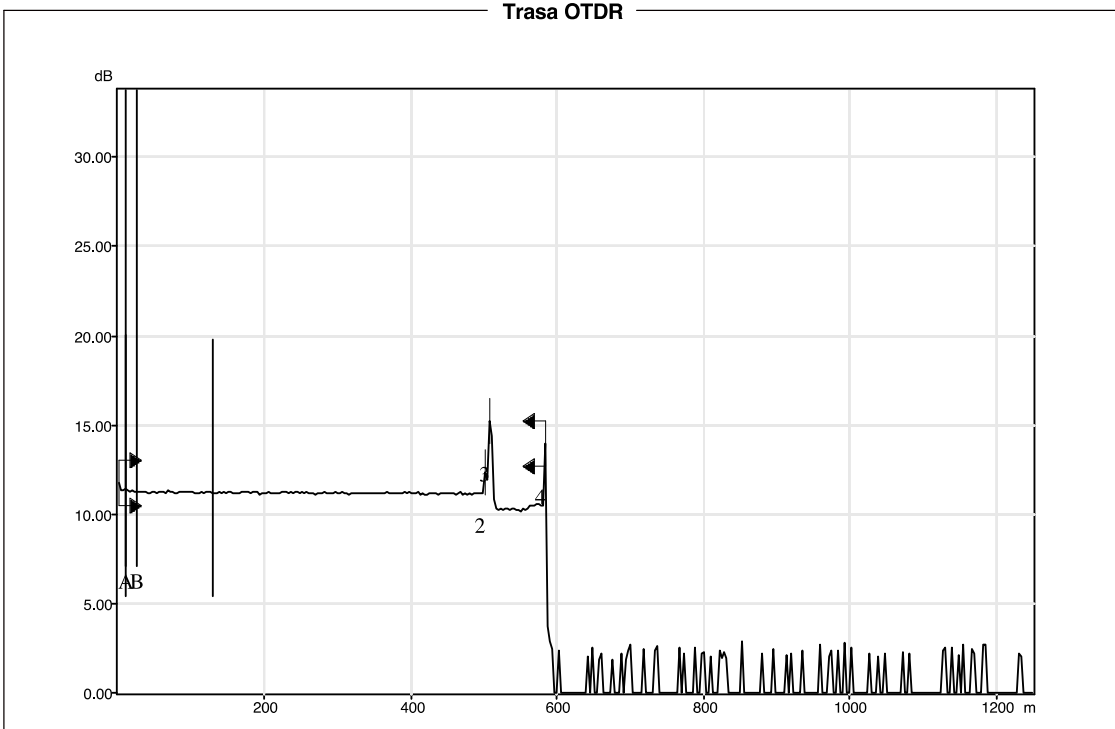
Nastavení měření a kabelu

Vlnová délka	: 1550 nm (SM-9μm)	Doba sberu dat	: 45 s
Jméno souboru	: 3_puls_0,5.trc	Šírka pulzu	: 0.5 m
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Kabelový faktor	: 0.00 %
Sériové číslo	: 422810	Limit ztráty spojení	: 0.020 dB
Software	: OTDR Rozšířený 6.14.19.221	Limit odrazivosti	: -72.0 dB
Rozsah	: 1.2500 km	Limit konce vlákna	: 3.000 dB
IOR	: 1.468325		
RBS	: -81.87		

Měření trasy

Ztráta trasy	: 1.071 dB	Průměrný ztráta svaru	: ---
Rozpetí	: 0.5836 km	Max. ztráta spojení	: ---
Průměrná ztráta	: 1.835 dB/km	ORL trasy	: 43.91 dB

Trasa OTDR



OTDR náměr vlákno 4 – 1310 nm, puls 0,5m:

Tabulka poruch

Císlo	Pozice (km)	Typ poruchy	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Mer.útl. (dB/km)	Kumul. (dB)
1	0.0000	Úroveň navázání	- - -	-76.2	0.426	0.000
2	0.5026	Vláknový úsek (0.5026 km)	0.214	-60.3		0.214
		Událost s odrazem	0.448			0.662
3	0.5078	Vláknový úsek (0.0052 km)	0.009	>-23.4	1.700	0.671
		Splyňující událost	- - -			-52.8
	0.5078			-23.4		

Inf. o značkách

A	: 0.0102 km, 13.405 dB	B	: 0.0246 km, 13.257 dB
a	: 0.0102 km, 13.450 dB	b	: 0.1305 km, 13.277 dB
Vzdálenost A>B	: 0.0144 km, 0.148 dB	ORL A->B	: 58.19 dB
Odrazivost 3bodove	: *****	Útlum AB (LSA)	: 14.947 dB/km
Ztráta 4bodove	: 0.189 dB		

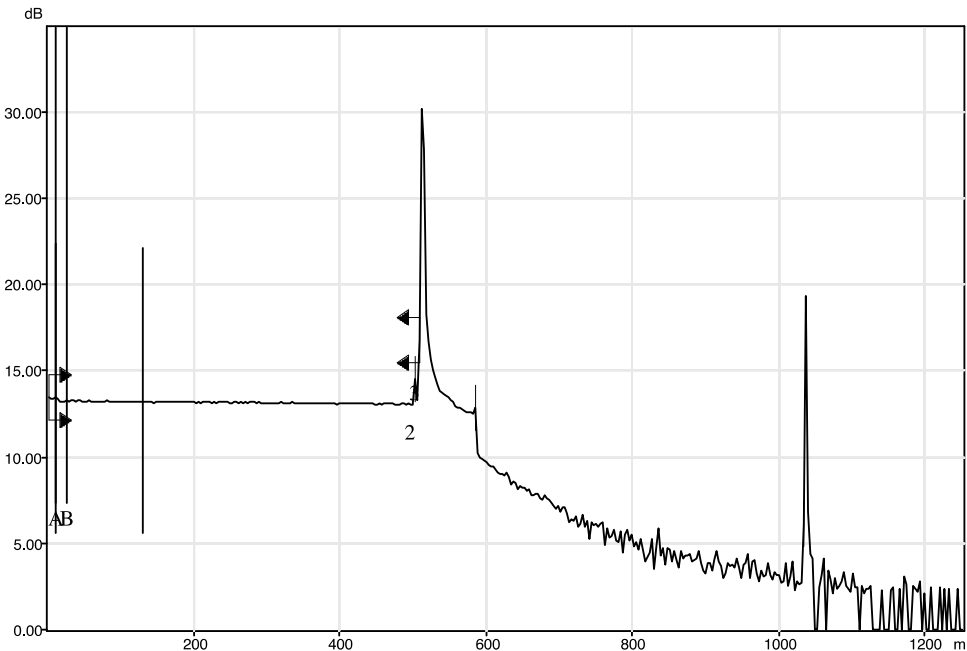
Nastavení měření a kabelu

Vlnová délka	: 1310 nm (SM-9μm)	Doba sberu dat	: 45 s
Jméno souboru	: 4_puls_0,5.pdf.trc	Šírka pulzu	: 0.5 m
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Kabelový faktor	: 0.00 %
Sériové číslo	: 422810	Limit ztráty spojení	: 0.020 dB
Software	: OTDR Rozšířený 6.14.19.221	Limit odrazivosti	: -72.0 dB
Rozsah	: 1.2500 km	Limit konce vlákna	: 3.000 dB
IOR	: 1.467700		
RBS	: -79.44		

Měření trasy

Ztráta trasy	: 0.671 dB	Průměrný ztráta svaru	: ---
Rozpetí	: 0.5078 km	Max. ztráta spojení	: ---
Průměrná ztráta	: 1.321 dB/km	ORL trasy	: <19.29 dB

Trasa OTDR



OTDR náměr vlákno 4 – 1550 nm, puls 0,5m:

Tabulka poruch

Tabulka poruch						
Císlo	Pozice (km)	Typ poruchy	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Mer.útl. (dB/km)	Kumul. (dB)
1	0.0000	Úroveň navázání	- - -	-73.8	0.246	0.000
2	0.5026	Vláknový úsek (0.5026 km)	0.123	-62.3		0.123
		Událost s odrazem	-0.180			-0.057
3	0.5078	Vláknový úsek (0.0052 km)	0.008	>23.3		1.500
		Splyňující událost	- - -			-0.049
	0.5078			-55.0		
				-23.3		

Inf. o značkách

A	: 0.0102 km, 11.438 dB	B	: 0.0246 km, 11.054 dB
a	: 0.0102 km, 11.318 dB	b	: 0.1305 km, 11.205 dB
Vzdálenost A>B	: 0.0144 km, 0.385 dB	ORL A->B	: 60.66 dB
Odrazivost 3bodove	: *****	Útlum AB (LSA)	: 10.504 dB/km
Ztráta 4bodove	: 0.084 dB		

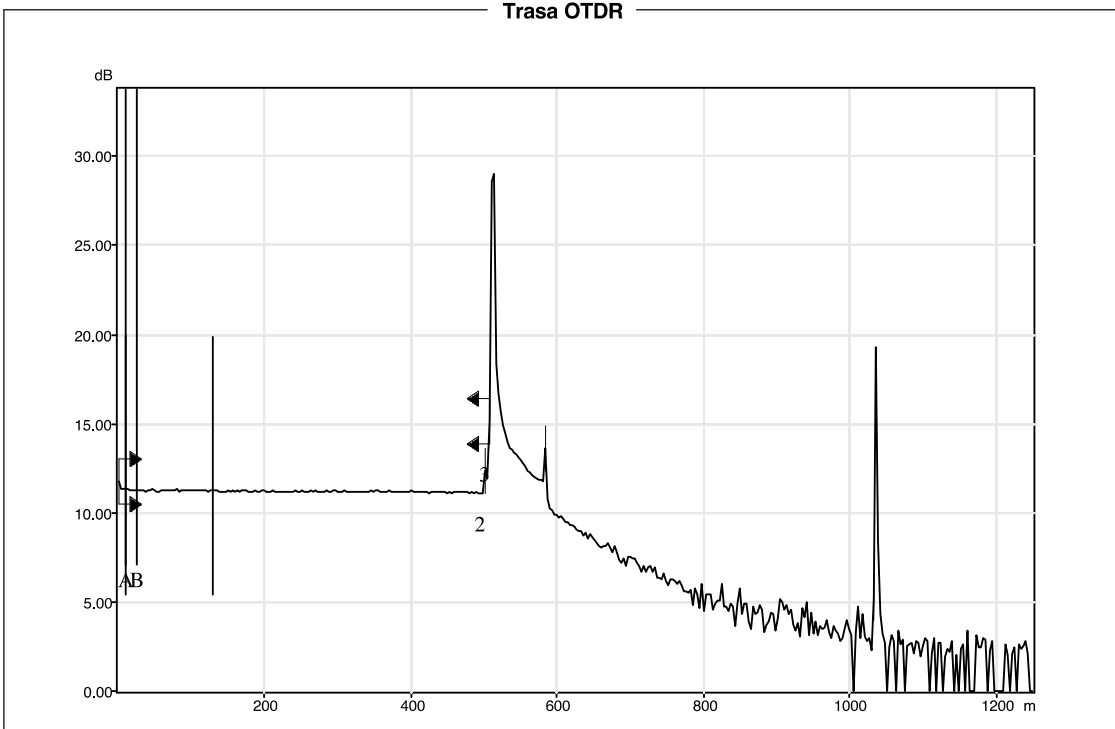
Nastavení měření a kabelu

Vlnová délka	: 1550 nm (SM-9μm)	Doba sberu dat	: 45 s
Jméno souboru	: 4_puls_0,5.pdf.trc	Šířka pulzu	: 0.5 m
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Kabelový faktor	: 0.00 %
Sériové číslo	: 422810	Limit ztráty spojení	: 0.020 dB
Software	: OTDR Rozšířený 6.14.19.221	Limit odrazivosti	: -72.0 dB
Rozsah	: 1.2500 km	Limit konce vlákna	: 3.000 dB
IOR	: 1.468325		
RBS	: -81.87		

Měření trasy

Ztráta trasy	: -0.049 dB	Průmerný ztráta svaru	: ---
Rozpetí	: 0.5078 km	Max. ztráta spojení	: ---
Průmerná ztráta	: -0.097 dB/km	ORL trasy	: <17.27 dB

Trasa OTDR



OTDR náměr vlákno 5 – 1310 nm, puls 0,5m:

Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ poruchy	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Mer.útl. (dB/km)	Kumul. (dB)
1	0.0000	Úroveň navázání	---	-76.0		0.000
		Vláknový úsek (0.5026 km)	0.218		0.434	0.218
2	0.5026	Událost s odrazem	0.504	-60.2		0.722
		Vláknový úsek (0.0052 km)	0.009		1.700	0.731
3	0.5079	Splyňující událost	0.662	-52.7		1.392
	0.5079			-52.7		
				-53.5		
		Vláknový úsek (0.0535 km)	0.013		0.250	1.406
4	0.5613	Zisková událost	-0.239			1.167
		Vláknový úsek (0.0225 km)	0.016		0.723	1.183
5	0.5838	Událost s odrazem	---	-45.8		1.183

Inf. o znacích

A	: 0.0102 km, 13.521 dB	B	: 0.0246 km, 13.354 dB
a	: 0.0102 km, 13.563 dB	b	: 0.1305 km, 13.269 dB
Vzdálenost A>B	: 0.0144 km, 0.168 dB	ORL A->B	: 58.38 dB
Odráživost 3bodové	: *****	Útlum AB (LSA)	: 16.951 dB/km
Ztráta 4bodové	: 0.297 dB		

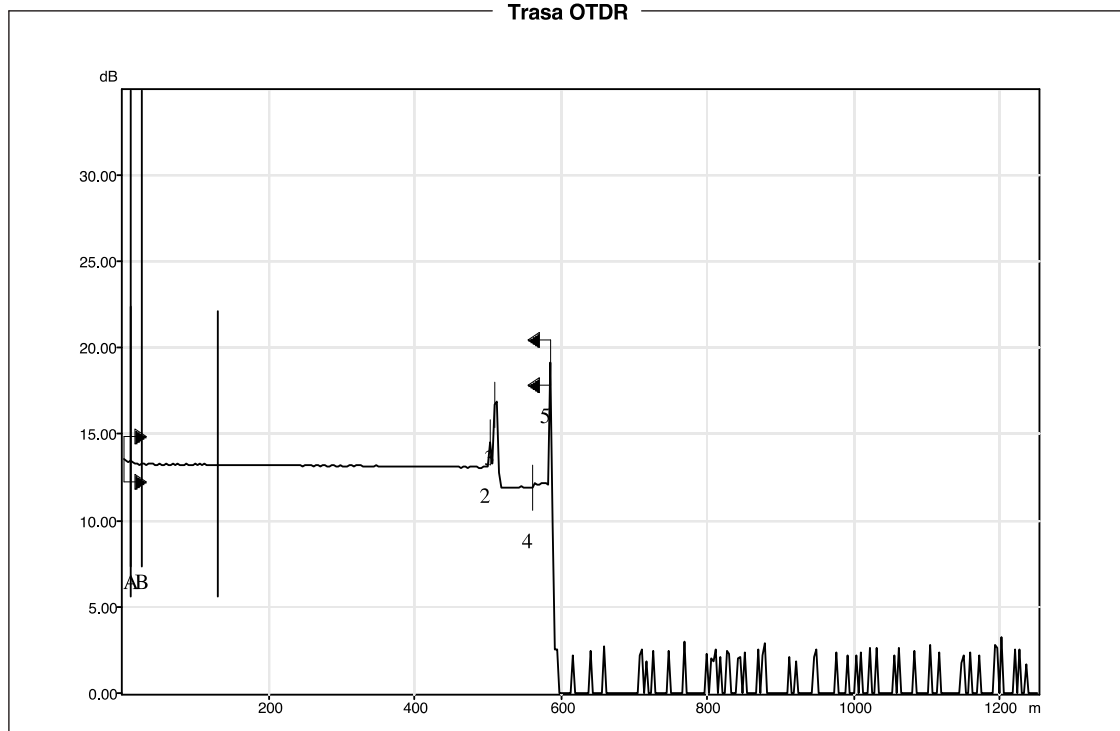
Nastavení měření a kabelu

Vlnová délka	: 1310 nm (SM-9μm)	Doba sberu dat	: 45 s
Jméno souboru	: 5_puls_0,5.pdf.trc	Šířka pulzu	: 0.5 m
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Kabelový faktor	: 0.00 %
Sériové číslo	: 422810	Limit ztráty spojení	: 0.020 dB
Software	: OTDR Rozšířený 6,14,19,221	Limit odráživosti	: -72.0 dB
Rozsah	: 1.2500 km	Limit konce vlákna	: 3.000 dB
IOR	: 1.467700		
RBS	: -79.44		

Měření trasy

Ztráta trasy	: 1.183 dB	Průměrná ztráta svaru	: -0.239 dB
Rozpetí	: 0.5838 km	Max. ztráta spojení	: -0.239 dB
Průměrná ztráta	: 2.027 dB/km	ORL trasy	: 40.90 dB

Trasa OTDR



OTDR náměr vlákno 5 – 1550 nm, puls 0,5m:

Tabulka poruch

Císlo	Pozice (km)	Typ poruchy	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Mer.útl. (dB/km)	Kumul. (dB)
1	0.0000	Úroveň navázání	---	-74.3		0.000
2	0.5025	Vláknový úsek (0.5025 km) Událost s odrazem	0.129 0.237	-62.3	0.256	0.129 0.365
3	0.5078	Vláknový úsek (0.0053 km) Událost s odrazem	0.008 -0.262	-54.1	1.500	0.373 0.112
4	0.5109	Vláknový úsek (0.0031 km) Událost s odrazem	0.005 0.992	-54.8	1.500	0.116 1.108
5	0.5838	Vláknový úsek (0.0729 km) Událost s odrazem	0.007 ---	-40,5	0.100	1.115 1.115

Inf. o značkách

A	: 0.0102 km, 11.501 dB	B	: 0.0246 km, 11.313 dB
a	: 0.0102 km, 11.505 dB	b	: 0.1305 km, 11.309 dB
Vzdálenost A>B	: 0.0144 km, 0.188 dB	ORL A->B	: 60.84 dB
Odrazivost 3bodove	: *****	Útlum AB (LSA)	: 11.341 dB/km
Ztráta 4bodove	: 0.307 dB		

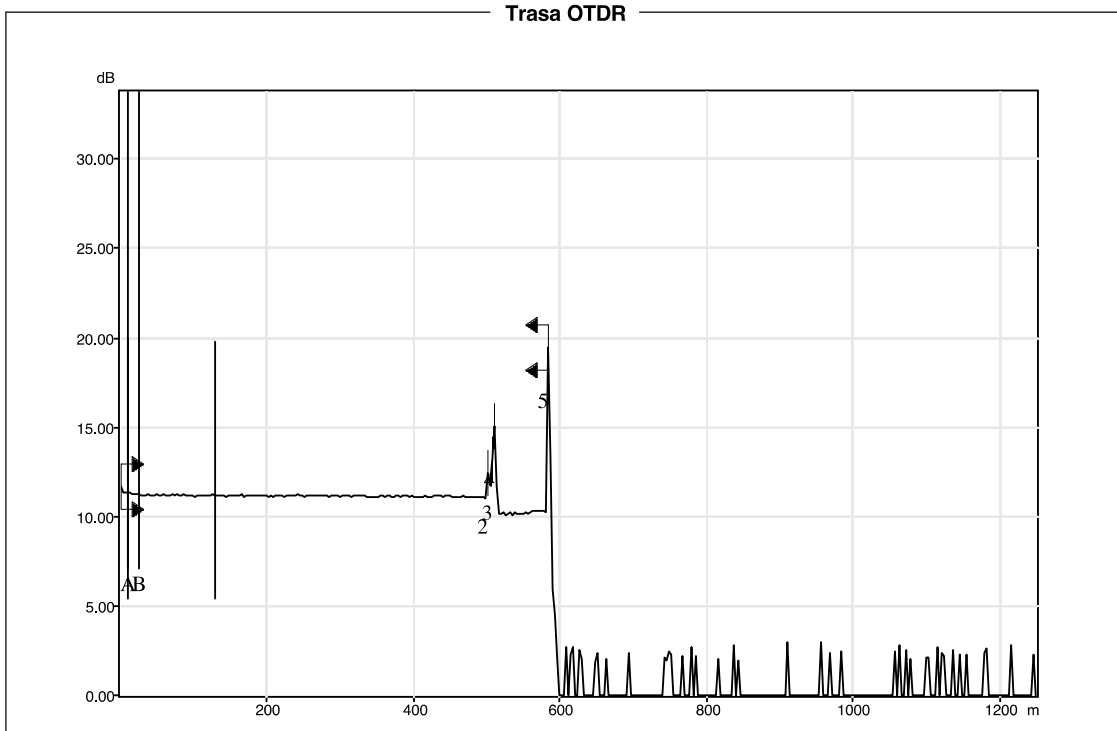
Nastavení měření a kabelu

Vlnová délka	: 1550 nm (SM-9μm)	Doba sberu dat	: 45 s
Jméno souboru	: 5_puls_0,5.pdf.trc	Šírka pulzu	: 0.5 m
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Kabelový faktor	: 0.00 %
Sériové číslo	: 422810	Limit ztráty spojení	: 0.020 dB
Software	: OTDR Rozšířený 6.14.19.221	Limit odrazivosti	: -72.0 dB
Rozsah	: 1.2500 km	Limit konce vlákna	: 3.000 dB
IOR	: 1.468325		
RBS	: -81.87		

Měření trasy

Ztráta trasy	: 1.115 dB	Průmerný ztráta svaru	: ---
Rozpetí	: 0.5838 km	Max. ztráta spojení	: ---
Průmerná ztráta	: 1.910 dB/km	ORL trasy	: 40.14 dB

Trasa OTDR



OTDR náměr vlákno 6 – 1310 nm, puls 0,5m:

Tabulka poruch

Císlo	Pozice (km)	Typ poruchy	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Mer.útl. (dB/km)	Kumul. (dB)
1	0.0000	Úroveň navázání	---	-76.4		0.000
		Vláknový úsek (0.5026 km)	0.212		0.422	0.212
2	0.5026	Událost s odrazem	0.569	-60.2		0.781
		Vláknový úsek (0.0052 km)	0.009		1.700	0.790
3	0.5079	Splyňující událost	0.137	>-23.3		0.927
				-52.7		
	0.5079			-23.3		
		Vláknový úsek (0.0755 km)	0.128		1.700	1.055
4	0.5834	Událost s odrazem	---	>-22.0		1.055

Inf. o značkách

A	: 0.0102 km, 13.509 dB	B	: 0.0246 km, 13.303 dB
a	: 0.0102 km, 13.472 dB	b	: 0.1305 km, 13.274 dB
Vzdálenost A>B	: 0.0144 km, 0.206 dB	ORL A->B	: 58.29 dB
Odrazivost 3bodove	: *****	Útlum AB (LSA)	: 13.129 dB/km
Ztráta 4bodove	: 0.170 dB		

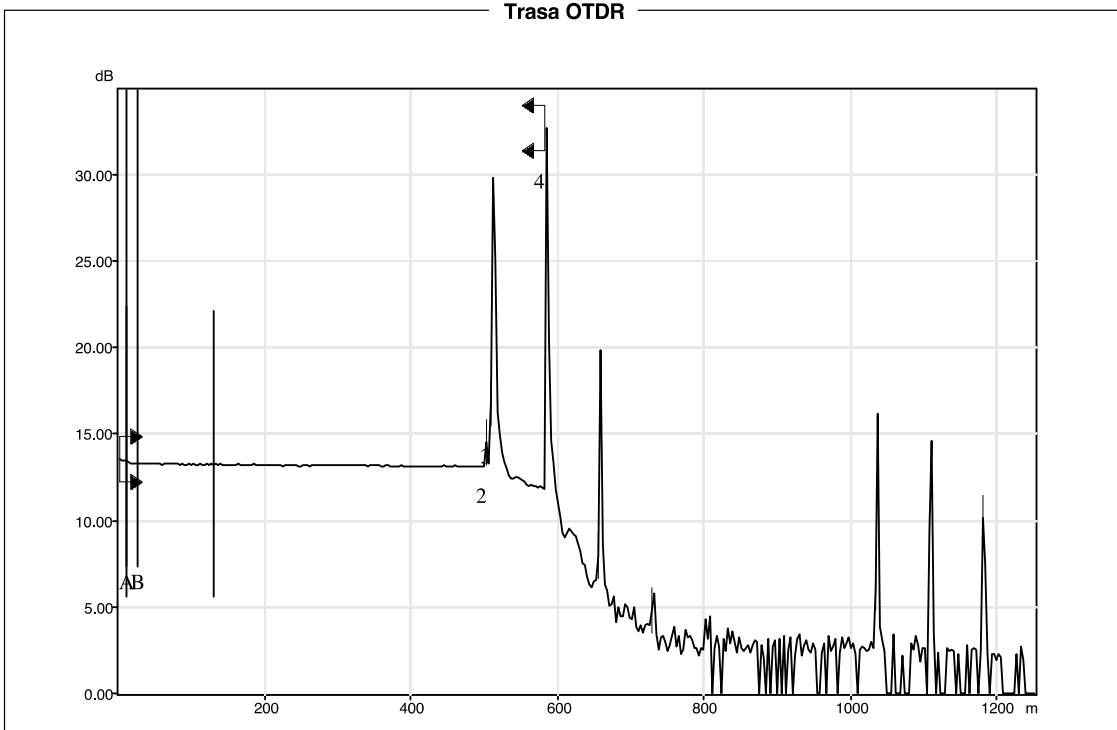
Nastavení měření a kabelu

Vlnová délka	: 1310 nm (SM-9μm)	Doba sberu dat	: 45 s
Jméno souboru	: 6_puls_0.5.trc	Šířka pulzu	: 0.5 m
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Kabelový faktor	: 0.00 %
Sériové číslo	: 422810	Limit ztráty spojení	: 0.020 dB
Software	: OTDR Rozšířený 6.14.19.221	Limit odrazivosti	: -72.0 dB
Rozsah	: 1.2500 km	Limit konce vlákna	: 3.000 dB
IOR	: 1.467700		
RBS	: -79.44		

Měření trasy

Ztráta trasy	: 1.055 dB	Průmerný ztráta svaru	: ---
Rozpetí	: 0.5834 km	Max. ztráta spojení	: ---
Průmerná ztráta	: 1.808 dB/km	ORL trasy	: <17.56 dB

Trasa OTDR



OTDR náměr vlákno 6 – 1550 nm, puls 0,5m:

Tabulka poruch

Císlo	Pozice (km)	Typ poruchy	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Mer.útl. (dB/km)	Kumul. (dB)
1	0.0000	Úroveň navázání	---	-73.9		0.000
2	0.5025	Vláknový úsek (0.5025 km)	0.112		0.223	0.112
		Událost s odrazem	0.161	-62.3		0.273
3	0.5078	Vláknový úsek (0.0053 km)	0.008		1.500	0.281
		Splyvající událost	0.001	>-22.9		0.283
	0.5078			-54.4		
				-22.9		
4	0.5833	Vláknový úsek (0.0755 km)	0.113		1.500	0.396
		Událost s odrazem	---	>-21.3		0.396

Inf. o značkách

A	: 0.0102 km, 11.432 dB	B	: 0.0246 km, 10.987 dB
a	: 0.0102 km, 11.407 dB	b	: 0.1305 km, 11.297 dB
Vzdálenost A>B	: 0.0144 km, 0.444 dB	ORL A->B	: 60.58 dB
Odrazivost 3bodove	: *****	Útlum AB (LSA)	: 10.261 dB/km
Ztráta 4bodove	: 0.158 dB		

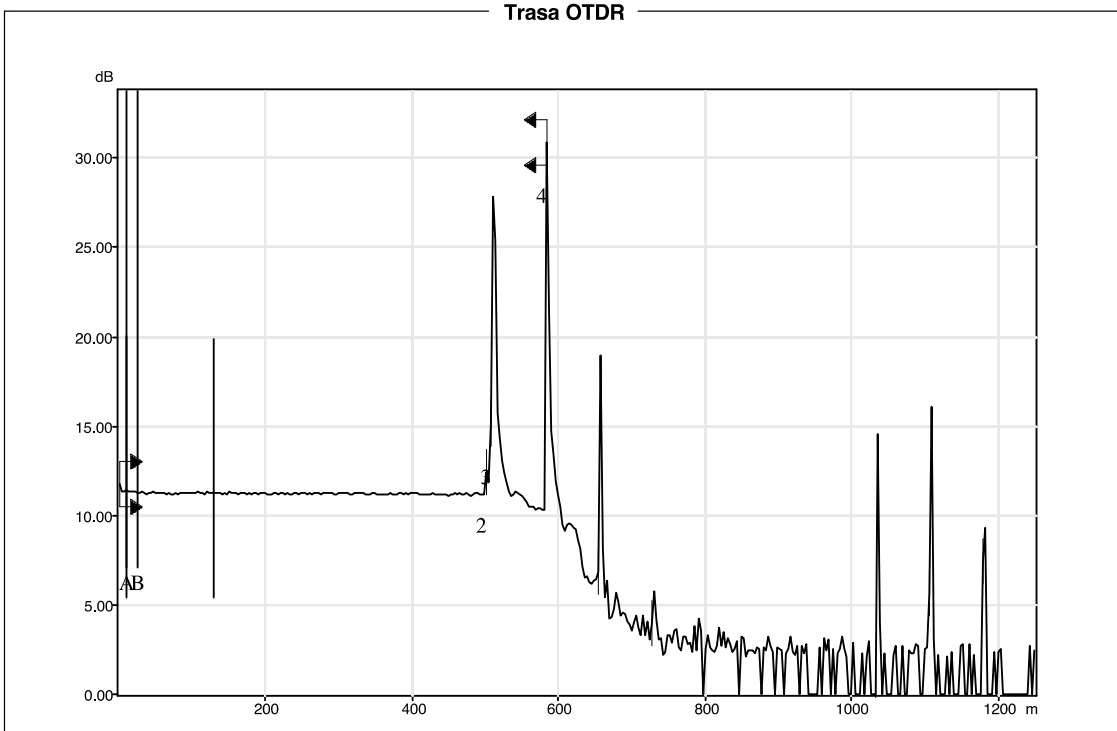
Nastavení měření a kabelu

Vlnová délka	: 1550 nm (SM-9μm)	Doba sberu dat	: 45 s
Jméno souboru	: 6_puls_0.5.trc	Šírka pulzu	: 0.5 m
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Kabelový faktor	: 0.00 %
Sériové číslo	: 422810	Limit ztráty spojení	: 0.020 dB
Software	: OTDR Rozšířený 6.14.19.221	Limit odrazivosti	: -72.0 dB
Rozsah	: 1.2500 km	Limit konce vlákna	: 3.000 dB
IOR	: 1.468325		
RBS	: -81.87		

Měření trasy

Ztráta trasy	: 0.396 dB	Průměrný ztráta svaru	: ---
Rozpetí	: 0.5833 km	Max. ztráta spojení	: ---
Průměrná ztráta	: 0.679 dB/km	ORL trasy	: <16.52 dB

Trasa OTDR



OTDR náměr vlákno 7 – 1310 nm, puls 0,5m:

Tabulka poruch

Císlo	Pozice (km)	Typ poruchy	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Mer.útl. (dB/km)	Kumul. (dB)
1	0.0000	Úroveň navázání	---	-76.8		0.000
2	0.5026	Vláknový úsek (0.5026 km) Událost s odrazem	0.221 0.545	-60.2	0.439	0.221 0.765
3	0.5079	Vláknový úsek (0.0052 km) Splyňující událost	0.009 0.721	-35.7 -52.8 -35.7	1.700	0.774 1.495
4	0.5833	Vláknový úsek (0.0755 km) Událost s odrazem	0.019 ---	>-22.0	0.250	1.514 1.514

Inf. o značkách

A	: 0.0102 km, 13.415 dB	B	: 0.0246 km, 13.298 dB
a	: 0.0102 km, 13.371 dB	b	: 0.1305 km, 13.137 dB
Vzdálenost A>B	: 0.0144 km, 0.117 dB	ORL A->B	: 58.21 dB
Odrazivost 3bodove	: *****	Útlum AB (LSA)	: 19.252 dB/km
Ztráta 4bodove	: 0.143 dB		

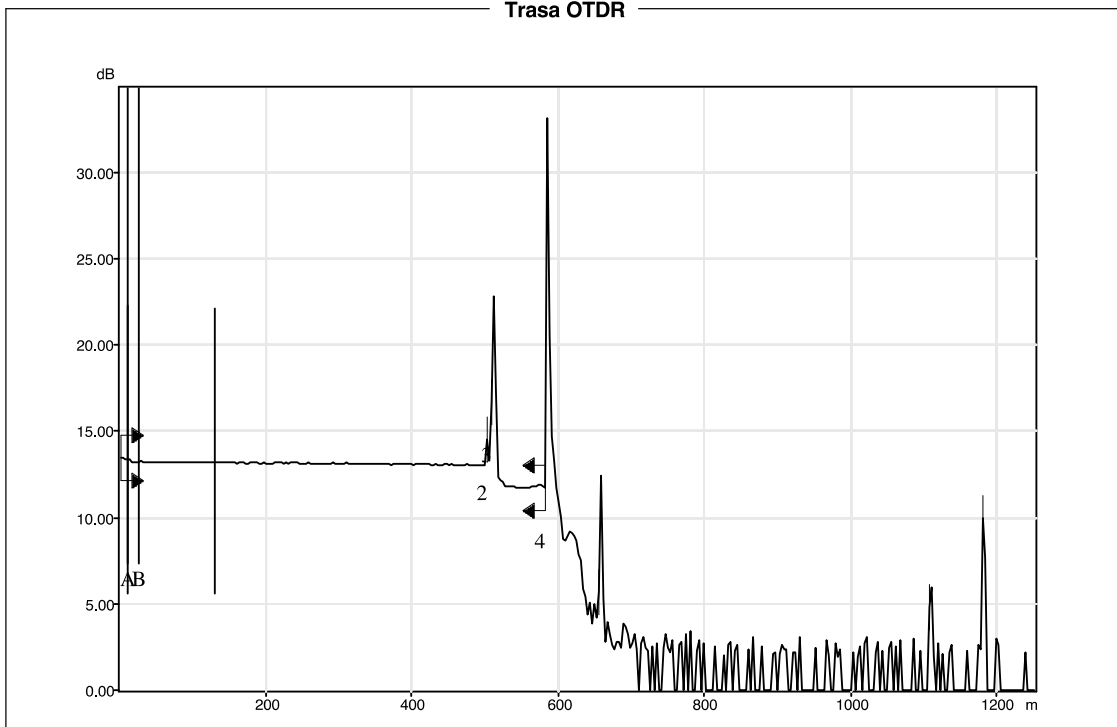
Nastavení měření a kabelu

Vlnová délka	: 1310 nm (SM-9μm)	Doba sberu dat	: 45 s
Jméno souboru	: 7_puls_0,5.trc	Šírka pulzu	: 0.5 m
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Kabelový faktor	: 0.00 %
Sériové číslo	: 422810	Limit ztráty spojení	: 0.020 dB
Software	: OTDR Rozšířený 6.14.19.221	Limit odrazivosti	: -72.0 dB
Rozsah	: 1.2500 km	Limit konce vlákna	: 3.000 dB
IOR	: 1.467700		
RBS	: -79.44		

Měření trasy

Ztráta trasy	: 1.514 dB	Průměrný ztráta svaru	: ---
Rozpetí	: 0.5833 km	Max. ztráta spojení	: ---
Průměrná ztráta	: 2.595 dB/km	ORL trasy	: <20.58 dB

Trasa OTDR



OTDR náměr vlákno 7 – 1550 nm, puls 0,5m:

Tabulka poruch

Císlo	Pozice (km)	Typ poruchy	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Mer.útl. (dB/km)	Kumul. (dB)
1	0.0000	Úroveň navázání	---	-74.0		0.000
2	0.5026	Vláknový úsek (0.5026 km)	0.125		0.249	0.125
		Událost s odrazem	0.184	-62.3		0.309
3	0.5078	Vláknový úsek (0.0052 km)	0.008		1.500	0.317
		Splyňující událost	0.625	-35.8		0.942
	0.5078			-54.4		
				-35.8		
4	0.5832	Vláknový úsek (0.0755 km)	0.113		1.500	1.055
		Událost s odrazem	---	>19.9		1.055

Inf. o značkách

A	: 0.0102 km, 11.260 dB	B	: 0.0246 km, 11.135 dB
a	: 0.0102 km, 11.298 dB	b	: 0.1305 km, 11.079 dB
Vzdálenost A->B	: 0.0144 km, 0.125 dB	ORL A->B	: 60.36 dB
Odrazivost 3bodove	: *****	Útlum AB (LSA)	: 12.071 dB/km
Ztráta 4bodove	: 0.107 dB		

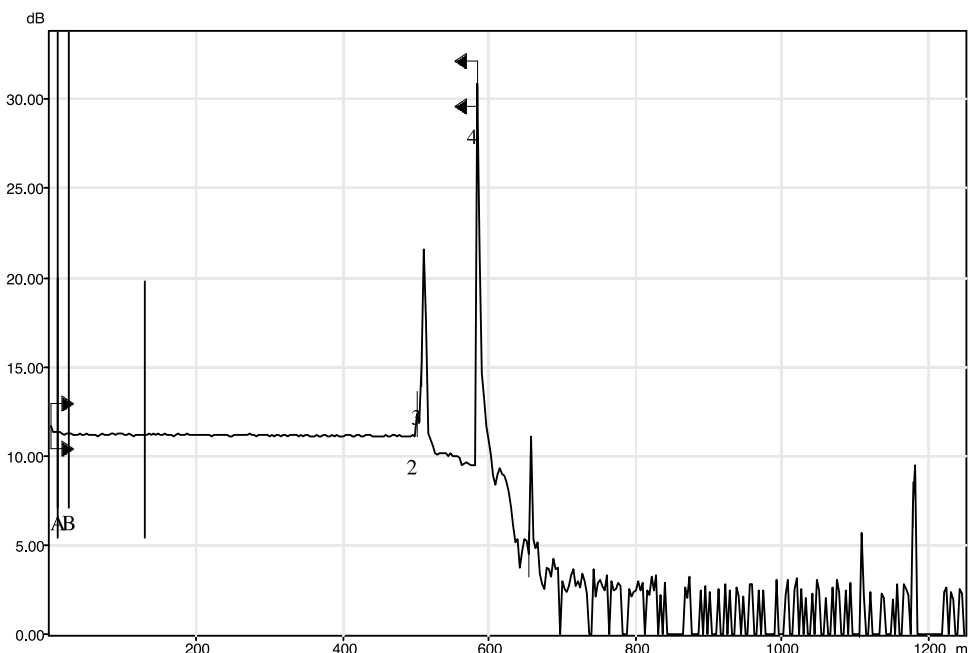
Nastavení měření a kabelu

Vlnová délka	: 1550 nm (SM-9μm)	Doba sberu dat	: 45 s
Jméno souboru	: 7_puls_0.5.trc	Šířka pulzu	: 0.5 m
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Kabelový faktor	: 0.00 %
Sériové číslo	: 422810	Limit ztráty spojení	: 0.020 dB
Software	: OTDR Rozšířený 6.14.19.221	Limit odrazivosti	: -72.0 dB
Rozsah	: 1.2500 km	Limit konce vlákna	: 3.000 dB
IOR	: 1.468325		
RBS	: -81.87		

Měření trasy

Ztráta trasy	: 1.055 dB	Průměrný ztráta svaru	: ---
Rozpetí	: 0.5832 km	Max. ztráta spojení	: ---
Průměrná ztráta	: 1.809 dB/km	ORL trasy	: <19.80 dB

Trasa OTDR



OTDR náměr vlákno 8 – 1310 nm, puls 0,5m:

Tabulka poruch

Číslo	Pozice (km)	Typ poruchy	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Mer.útl. (dB/km)	Kumul. (dB)
1	0.0000	Úroveň navázání	---	-77.0		0.000
2	0.5026	Vláknový úsek (0.5026 km)	0.214		0.426	0.214
		Událost s odrazem	0.541	-60.2		0.755
3	0.5079	Vláknový úsek (0.0052 km)	0.009		1.700	0.764
		Splyňující událost	---	-26.4		0.764
	0.5079			-52.8		
				-26.4		

Inf. o značkách

A	: 0.0102 km, 13.340 dB	B	: 0.0246 km, 13.133 dB
a	: 0.0102 km, 13.355 dB	b	: 0.1305 km, 13.119 dB
Vzdálenost A>B	: 0.0144 km, 0.207 dB	ORL A->B	: 58.16 dB
Odrazivost 3bodove	: *****	Útlum AB (LSA)	: 13.511 dB/km
Ztráta 4bodove	: 0.175 dB		

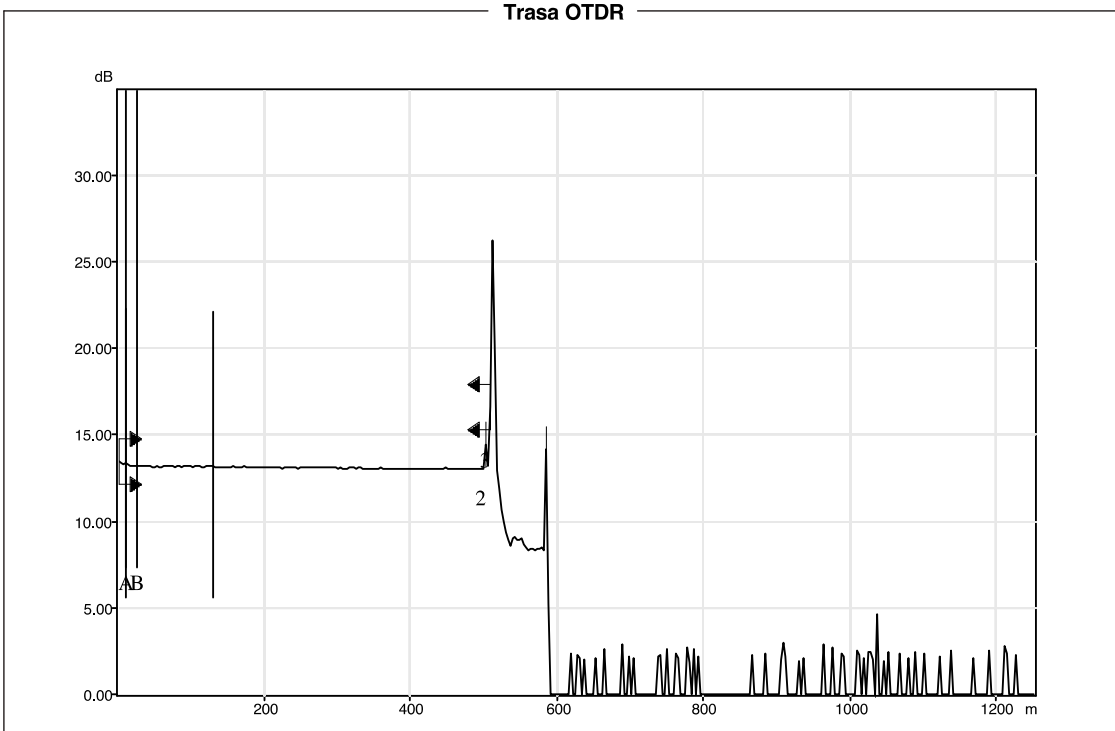
Nastavení měření a kabelu

Vlnová délka	: 1310 nm (SM-9μm)	Doba sberu dat	: 45 s
Jméno souboru	: 8_puls_0,5.trc	Šířka pulzu	: 0.5 m
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Kabelový faktor	: 0.00 %
Sériové číslo	: 422810	Limit ztráty spojení	: 0.020 dB
Software	: OTDR Rozšířený 6.14.19.221	Limit odrazivosti	: -72.0 dB
Rozsah	: 1.2500 km	Limit konce vlákna	: 3.000 dB
IOR	: 1.467700		
RBS	: -79.44		

Měření trasy

Ztráta trasy	: 0.764 dB	Průměrný ztráta svaru	: ---
Rozpetí	: 0.5079 km	Max. ztráta spojení	: ---
Průměrná ztráta	: 1.505 dB/km	ORL trasy	: 28.07 dB

Trasa OTDR



OTDR náměr vlákno 8 – 1550 nm, puls 0,5m:

Tabulka poruch

Tabulka poruch						
Císlo	Pozice (km)	Typ poruchy	Útlum (dB)	Odraz (dB)	Mer.útl. (dB/km)	Kumul. (dB)
1	0.0000	Úroveň navázání	---	-74.5	0.213	0.000
2	0.5025	Vláknový úsek (0.5025 km)	0.107	-62.2		0.107
		Událost s odrazem	0.222		0.329	
3	0.5078	Vláknový úsek (0.0052 km)	0.008	>-23.4	1.500	0.337
		Splyňující událost	---			0.337
	0.5078					-54.3
				-23.4		

Inf. o značkách

A	: 0.0102 km, 11.493 dB	B	: 0.0246 km, 11.257 dB
a	: 0.0102 km, 11.422 dB	b	: 0.1305 km, 11.348 dB
Vzdálenost A>B	: 0.0144 km, 0.236 dB	ORL A->B	: 61.02 dB
Odrazivost 3bodove	: *****	Útlum AB (LSA)	: 4.233 dB/km
Ztráta 4bodove	: 0.280 dB		

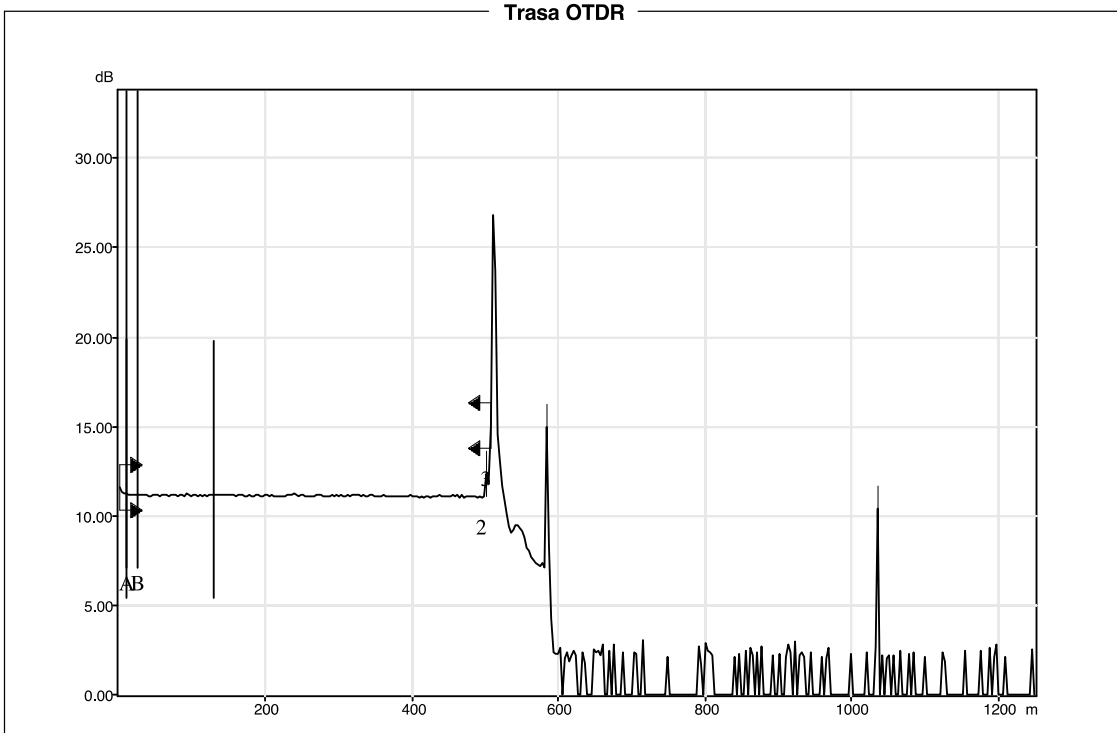
Nastavení měření a kabelu

Vlnová délka	: 1550 nm (SM-9μm)	Doba sberu dat	: 45 s
Jméno souboru	: 8_puls_0,5.trc	Šířka pulzu	: 0.5 m
Hardware	: FTB-7200D-12CD-23B-EA	Kabelový faktor	: 0.00 %
Sériové číslo	: 422810	Limit ztráty spojení	: 0.020 dB
Software	: OTDR Rozšířený 6.14.19.221	Limit odrazivosti	: -72.0 dB
Rozsah	: 1.2500 km	Limit konce vlákna	: 3.000 dB
IOR	: 1.468325		
RBS	: -81.87		

Měření trasy

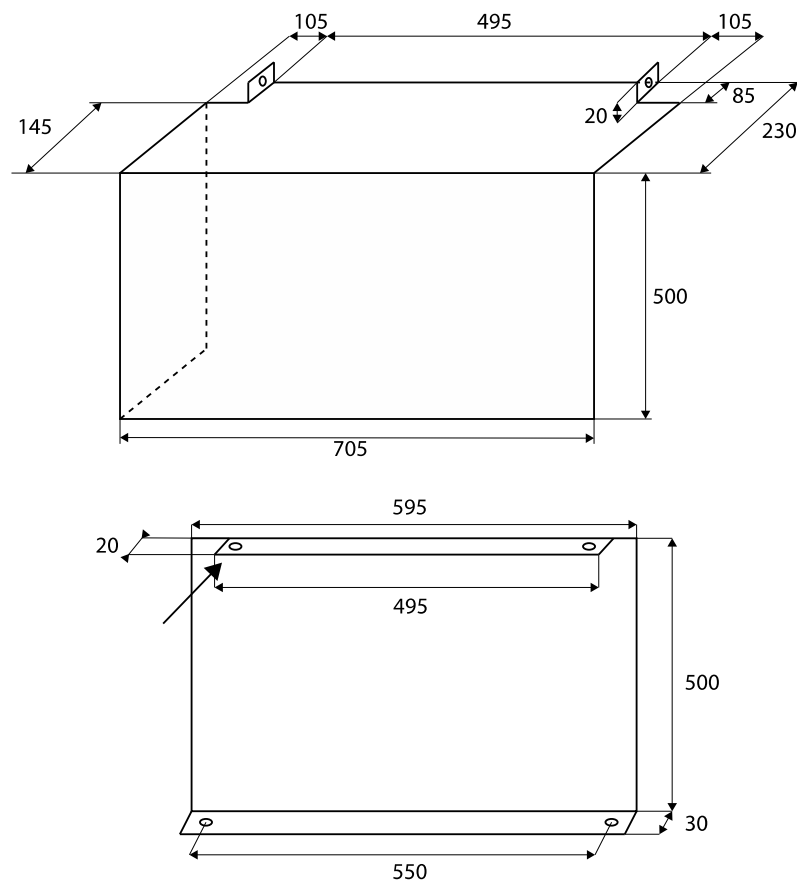
Ztráta trasy	: 0.337 dB	Průměrný ztráta svaru	: ---
Rozpetí	: 0.5078 km	Max. ztráta spojení	: ---
Průměrná ztráta	: 0.663 dB/km	ORL trasy	: <21.14 dB

Trasa OTDR

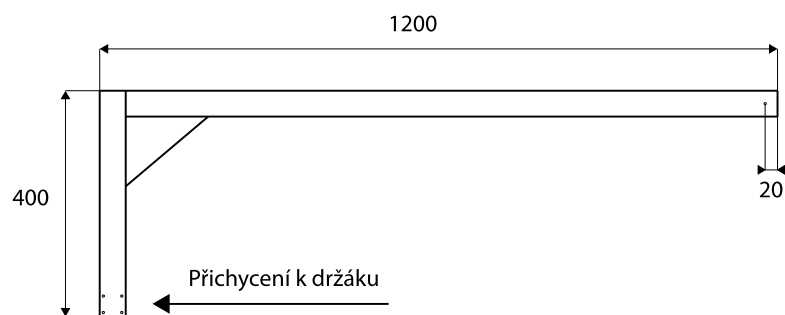


Příloha B – Měření optického výkonu po průřezu svazku

Rozměry vyrobeného krytu:



Rozměry pro výrobu ramene:



Fotografie z měření:



Kód měřicí aplikace:

```
function varargout = gui(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',    mfilename, ...
'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
'gui_OpeningFcn', @gui_OpeningFcn, ...
'gui_OutputFcn',  @gui_OutputFcn, ...
'gui_LayoutFcn',  [], ...
'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end
if nargout
[varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT
function gui_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);
function varargout = gui_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

%-----

%řádek pro vyplnění vlnové délky
function wavelength_edit_Callback(hObject, eventdata, handles)
```

```

%řádek pro vyplnění kroku
function step_edit_Callback(hObject, eventdata, handles)

%řádek pro vyplnění pauzy
function pause_edit_Callback(hObject, eventdata, handles)

%Nastavení portu X pomocí pop-up menu
function port_menu_X_Callback(hObject, eventdata, handles)
handles.port_X = 'COM4';
switch get(handles.port_menu_X, 'Value')
case 1
handles.port_X = 'COM1';
case 2
handles.port_X = 'COM2';
case 3
handles.port_X = 'COM3';
case 4
handles.port_X = 'COM4';
case 5
handles.port_X = 'COM5';
case 6
handles.port_X = 'COM6';
otherwise
end
guidata(hObject, handles);

%Nastavení portu Y pomocí pop-up menu
function port_menu_Y_Callback(hObject, eventdata, handles)
handles.port_Y = 'COM6';
switch get(handles.port_menu_Y, 'Value')
case 1
handles.port_Y = 'COM1';
case 2
handles.port_Y = 'COM2';
case 3
handles.port_Y = 'COM3';
case 4
handles.port_Y = 'COM4';
case 5
handles.port_Y = 'COM5';
case 6
handles.port_Y = 'COM6';
otherwise
end
guidata(hObject, handles);

%Nastavení portu meraku pomocí pop-up menu
function port_menu_merak_Callback(hObject, eventdata, handles)
handles.port_merak = 'COM5';
switch get(handles.port_menu_merak, 'Value')
case 1
handles.port_merak = 'COM1';
case 2
handles.port_merak = 'COM2';
case 3
handles.port_merak = 'COM3';
case 4
handles.port_merak = 'COM4';
case 5
handles.port_merak = 'COM5';
case 6
handles.port_merak = 'COM6';
otherwise
end
guidata(hObject, handles);

%Inicializace horizontální osy
function initialization_button_X_Callback(hObject, eventdata, handles)
handles.s1 = serial(handles.port_X);

```

```

set(handles.s1,'BaudRate',115200); %115200 Baud rate
set(handles.s1,'DataBits',8); %default %-8 Data bits
set(handles.s1,'Parity','none'); %default value %-No Parity
set(handles.s1,'StopBits',1); %default %-1 Stop Bit
set(handles.s1,'Terminator','CR');
set(handles.s1,'FlowControl','hardware');
fopen(handles.s1);
fprintf(handles.s1,'%609301:00004000');
fprintf(handles.s1,'%609302:000000E1');
guidata(hObject, handles);

%Inicializace vertikální osy
function initialization_button_Y_Callback(hObject, eventdata, handles)
handles.s2 = serial(handles.port_Y);
guidata(hObject, handles);
set(handles.s2,'BaudRate',115200); %115200 Baud rate
set(handles.s2,'DataBits',8); %default %-8 Data bits
set(handles.s2,'Parity','none'); %default value %-No Parity
set(handles.s2,'StopBits',1); %default %-1 Stop Bit
set(handles.s2,'Terminator','CR');
set(handles.s2,'FlowControl','hardware');
fopen(handles.s2);
fprintf(handles.s2,'%609301:00008000');
fprintf(handles.s2,'%609302:00000195');
guidata(hObject, handles);

%Inicializace měřicího zařízení
function initialization_button_merak_Callback(hObject, eventdata, handles)
handles.s_merak = serial(handles.port_merak);
set(handles.s_merak,'BaudRate',115200); %115200 Baud rate
set(handles.s_merak,'DataBits',8); %default %-8 Data bits
set(handles.s_merak,'Parity','none'); %default value %-No Parity
set(handles.s_merak,'StopBits',1); %default %-1 Stop Bit
set(handles.s_merak,'Terminator','LF');
set(handles.s_merak,'FlowControl','hardware');
fopen(handles.s_merak);
nm = str2num(get(handles.wavelength_edit,'String'))/1000000000;
pause(0.2);
wavelength = ['WAVELENGTH ', num2str(nm)];
fprintf(handles.s_merak,wavelength);
guidata(hObject, handles);
disp('start_button_Callback',handles);

%Homing horizontální osy
function homing_button_X_Callback(hObject, eventdata, handles)
fprintf(handles.s1,'%651010:0002');
fprintf(handles.s1,'%604000:0006');
fprintf(handles.s1,'%604000:0007');
fprintf(handles.s1,'%604000:000F');
fprintf(handles.s1,'%606000:06');
fprintf(handles.s1,'%604000:001F');
fprintf(handles.s1,'%604100');
pause(20);
fprintf(handles.s1,'%604000:000F');
guidata(hObject, handles);

%Homing vertikální osy
function homing_button_Y_Callback(hObject, eventdata, handles)
fprintf(handles.s2,'%651010:0002');
fprintf(handles.s2,'%604000:0006');
fprintf(handles.s2,'%604000:0007');
fprintf(handles.s2,'%604000:000F');
fprintf(handles.s2,'%606000:06');
fprintf(handles.s2,'%604000:001F');
pause(20);
fprintf(handles.s2,'%604000:000F');
guidata(hObject, handles);

function start_button_Callback(hObject, eventdata, handles)

```

```

disp('stop_button_Callback'),handles
handles.step_dec = str2num(get(handles.step_edit,'String'));
handles.step_hex = dec2hex(((handles.step_dec)*10),8);
handles.pocet_kroku = 600/(handles.step_dec);
handles.step_str = num2str(handles.step_hex);
handles.command_stepbezhex='607A00:';
handles.command_step = strcat (handles.command_stepbezhex,handles.step_str);
fprintf(handles.s1,'606000:01'); %přepnutí do position_mode
fprintf(handles.s2,'606000:01');
matrix = [0];

for i=1:(handles.pocet_kroku)+1 %Cyklus pro Y osu
fprintf(handles.s1,handles.command_step); %nastavení kroku
fprintf(handles.s2,handles.command_step);
if(i>1)
fprintf(handles.s2,'604000:005F'); %vykonej posun na relativní hodnotu
pause(str2num(get(handles.pause_edit,'String'))); %pauza pro přejetí
fprintf(handles.s2,'604000:000F'); %přepnutí do režimu ready
end
fprintf(handles.s_merak,'POWER?'); %sejmutí hodnoty optického výkonu
matrix(1,((handles.pocet_kroku)+1-(i-1)))=str2num(fscanf(handles.s_merak)); %uložení hodnoty do matice

for j=1:(handles.pocet_kroku) %vnořený cyklus pro X osu
fprintf(handles.s1,'604000:005F'); %vykonej posun o relativní hodnotu
pause(str2num(get(handles.pause_edit,'String'))); %pauza pro přejetí
fprintf(handles.s1,'604000:000F'); %přepnutí do režimu ready
fprintf(handles.s_merak,'POWER?'); %sejmutí hodnoty optického výkonu
matrix(j+1,((handles.pocet_kroku)+1-(i-1)))=str2num(fscanf(handles.s_merak));
end
pause(0.2);
fprintf(handles.s1,'607A00:00000000'); %nastavení pozice (na začátek osy)
pause(0.2);
fprintf(handles.s1,'604000:001F'); %vykonej posun na absolutní hodnotu
pause(8); %pauza pro návrat do bodu 0
fprintf(handles.s1,handles.command_step); %nastavení kroku
fprintf(handles.s1,'604000:000F'); %přepnutí do režimu ready
end
fclose(handles.s1);
fclose(handles.s2);
fclose(handles.s_merak);
figure;
x = 0:(handles.pocet_kroku); % vytvoření vektoru na ose x
y = x; % vytvoření vektoru na ose y
[X,Y] = meshgrid(x,y); % vytvoření mřížky pro vykreslení
save('mereni.txt','matrix','-ASCII') % uložení hodnot měření do souboru
Z = matrix;
mesh(X,Y,Z); % vykreslení 3D grafu

%Ukončení vykonávání a odpojení jednotlivých portů
function stop_button_Callback(hObject, eventdata, handles)
fclose(handles.s1);
fclose(handles.s2);
fclose(handles.s_merak);
guidata(hObject, handles);

%-----

function port_menu_merak_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function step_edit_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function port_menu_Y_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

```

```

if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function port_menu_X_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function power_text_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function wavelength_edit_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function pause_edit_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
end]

```

Příloha C – Měření chybovosti

Report BERT testu z EXFO AXS-200/850:

```
EXFO Electro-Optical Engineering Inc.      Pattern Loss 0

User Information:
Report Date: 5/2/2011 15:14:51

-----Test Configuration-----
Type: BERT
Framing: Ethernet/IPv4/UDP
TX Rate (Mbps):      1000.0
Frame Size (Bytes):  1024
Pass/Fail Verdict:   Bit Error Rate & SDT
BER Threshold :      1.0E-06
No Traffic Time (ms): 1000
SDT Threshold (ms):  1000.00
Test Interface:
Port: Optical 1Gbps Full
Source MAC Address: 00:03:01:FF:23:FD
IP Version: IPv4
IP Address:          158.196.100.100
Source UDP Port: 1234
VLAN ID/Priority:
None
Stream Info:
Dest. MAC Address: 00:15:AD:00:AD:06
Dest. IP Address: 192.168.20.100
Dest. UDP Port: 7
Test Pattern: PRBS 2^23-1 Inverted
User Pattern: Not Applicable
Remote ID: Disabled

-----Test Results-----
Start Time: 14:42:48 Duration: 0d 00:15:02
Global Pass/Fail Verdict: Pass
BER Pass/Fail Verdict: Pass
Bit Error Count: 0
Bit Error Rate: 0.0E00
SDT Pass/Fail Verdict: Pass
Longest SDT (ms): 0
Shortest SDT (ms): 0
Last SDT (ms): 0
Average SDT (ms): 0
Total SDT (s): 0
Service Disruption Count: 0

-----Alarms-----
Alarm      Seconds
LOS        0
Link Down  0
Frequency  0
No Traffic 0

-----Errors-----
Error      Count Error      Count
Symbol     0      Jabber     0
Undersize  0      Late Coll. N/A
FCS         0      Runt       0
Collision N/A Exc. Coll. N/A
Alignment  --

-----Statistics-----
RX Rate (Mbps): 1000.0
Item          Count Rate
Mismatch '0'  0      0.0E00
Mismatch '1'  0      0.0E00

-----System Information-----
Module Information:
Module ID:      AXS-850
Revision Number: 65
Serial Number:  429172
Calibration Date: 12/12/2007
Software Information:
Software Version: 1.5.0.36

-----Logger-----
Log Full: No

ID   Time/      Event/
.    Duration Details
1    0d 00:00:00 Test Started
.    -          2011-05-02
2    0d 00:15:02 Test Stopped
.    -          Pass
```

Report RFC 2544 testu z EXFO AXS-200/850:

```
EXFO Electro-Optical Engineering Inc.      Pattern Loss 0

User Information:
Report Date: 4/29/2011 21:27:07

-----Test Configuration-----
Type: RFC 2544
Throughput Test Time(MM:SS) 00:05
Throughput Max Rate (Mbps) 1000.0
Throughput Threshold (Mbps) 1000.0
Back-to-Back Max.Dur.(MM:SS) 2
Back-to-Back Threshold (%) 100.0
Frame Loss Test Time(MM:SS) 00:05
Frame Loss Max. Rate (Mbps) 1000.0
Frame Loss Threshold (%) 0.1
Latency Maximum Rate (Mbps) N/A
Latency Test Time (MM:SS) 00:05
Latency Threshold (ms) 125.0
Test Interface:
Port: Optical 1Gbps Full
Source MAC Address: 00:03:01:FF:23:FD
IP Version: IPv4
IP Address: 158.196.100.100
Source UDP Port: 1234
VLAN ID/Priority:
None
Stream Info:
Dest. MAC Address: 00:1E:C2:0F:6D:D8
Dest. IP Address: 192.168.20.100
Dest. UDP Port: 7
Remote ID: Disabled

-----Test Results-----
Start Time: 21:03:01
Status:
Throughput Completed
Back-to-Back Completed
Frame Loss Completed
Latency Completed
Duration:
RFC 2544 0d 00:10:22
Throughput 0d 00:03:11
Back-to-Back 0d 00:01:33
Frame Loss 0d 00:03:37
Latency 0d 00:01:56
Pass/Fail Verdict:
Throughput Pass
Back-to-Back Pass
Frame Loss Pass
Latency Pass

-----Alarms-----
Alarm Seconds

-----Errors-----
Error Count Error Count
Symbol 0 Jabber 0
Undersize 0 Late Coll. N/A
FCS 0 Runt 0
Collision N/A Exc. Coll. N/A
Alignment --

-----Statistics-----
RX Rate (Mbps): 1000.0
Item Count Rate
Mismatch '0' 0 0.0E00
Mismatch '1' 0 0.0E00

-----System Information-----
Module Information:
Module ID: AXS-850
Revision Number: 65
Serial Number: 429172
Calibration Date: 12/12/2007
Software Information:
Software Version: 1.5.0.36

-----Logger-----
Log Full: No

ID Time/ Event/
. Duration Details
1 0d 00:00:00 Test Started
. - 2011-05-02
2 0d 00:15:02 Test Stopped
. - Pass
```

Report BERT testu z EXFO FTB-8510G:

Job Information

Job ID	1
Contractor	
Customer	
Report Date	2011-05-02 17:48:00
Operator Name	Tomas David

1.1.1.5. Pattern

Alarm	H
Bit Error	No Fault
Pattern Loss	No Fault
No Traffic	No Fault

Error Analysis	Count	Rate
Bit Error	0	0.00E00

1.1.2.1. Logger Events

ID	Date/Time	Data Path	Event	Duration	Count	Rate
1	2011-05-02 17:39:21	Test 1	Test Started			
2	2011-05-02 17:47:47	Test 1	Test Stopped			

1.2.1. Test Status

Item	Value
Start Time:	2011-05-02 17:39:21
Port 2 Link	Up
Expert Mode Verdict	—

1.2.2. Test Configuration

Item	Value
Application Type	BERT
Test Name	TEST
Test Description	

1.2.3. Test Preferences

Item	Value
Couple Start/Enable TX	Enabled

3.4.1. MAC Configuration

Item	Value
MAC Address	00:03:01:FC:66:8B

3.4.2. IP Configuration

Item	Value
IP Address	192.168.20.100
Subnet Mask	255.255.0.0
Enable DHCP	Disabled
Enable Default Gateway	Disabled
Default Gateway	N/A

3.6.1. Configuration

Item	Value
Link	Up
Auto-Negotiation	Completed
Remote Fault	No Error
Speed	1Gbps
Duplex	Full
Flow Control	None
Local Clock	N/A

6.2.3. Error Analysis

Error	H	Seconds	Count	Rate
Symbol	No Fault	0	0	0.00E00
Idle	No Fault	0	0	0.00E00
False Carrier	No Fault	0	0	0.00E00
FCS	No Fault	0	0	0.00E00
Jabber/Giant	No Fault	0	0	0.00E00
Oversize	N/A	N/A	N/A	N/A
Runt	No Fault	0	0	0.00E00
Undersize	No Fault	0	0	0.00E00
Alignment	—	--	—	—
Collision	N/A	N/A	N/A	N/A
Late Collision	N/A	N/A	N/A	N/A
Excessive Col.	N/A	N/A	N/A	N/A
Total Error Count			0	

Report RFC 2544 testu z EXFO FTB-8510G:

2.1.2.1. Logger Events

ID	Date/Time	Data Path	Event	Duration	Count	Rate
1	2011-05-02 17:51:46	Test 1	Test Started			
2	2011-05-02 17:58:48	Test 1	Test Stopped			

2.2.2. Test Configuration

Item	Value
Application Type	RFC 2544
Test Name	TEST
Test Description	

3.3.1. Configuration

Item	Value
Enable Auto-Negotiation	Enabled
Speed	1Gbps
Duplex	Full
Flow Control	None
Local Clock	N/A

3.4.2. IP Configuration

Item	Value
IP Address	192.168.20.100
Subnet Mask	255.255.0.0
Enable DHCP	Disabled
Enable Default Gateway	Disabled
Default Gateway	N/A

3.4.3. Frame Format

Item	Value
Format	Ethernet II
OUI	N/A

5.1.1. Configuration

Item	Value
Frame Size Distribution	RFC 2544
Quantity	7
Frame Size 1	64
Frame Size 2	128
Frame Size 3	256
Frame Size 4	512
Frame Size 5	1024
Frame Size 6	1280
Frame Size 7	1518

5.1.2. Test Procedure

Test	Status	State
Throughput	Enabled	Completed
Back-to-Back	Enabled	Completed
Frame Loss	Enabled	Completed
Latency	Enabled	Completed

5.2.1. Configuration

Item	Value
Test Time (MM:SS)	00:01
Accuracy (%)	1
Nb. of Acceptable Errors	0
Nb. of Trials to Average	1
Nb. of Validations	1
Maximum Rate TX-to-RX (%)	100
Minimum Test Time (Seconds)	—

5.2.2.1. Frame Count

	TX-to-RX
TX	81274
RX	81274

5.5.2.2.1. Current

Frame Size	TX-to-RX Rate (%)	TX-to-RX - Cut Through (μ s)
64	100.0	< 5 μ s
128	100.0	< 5 μ s
256	100.0	< 5 μ s
512	100.0	< 5 μ s
1024	100.0	< 5 μ s
1280	100.0	< 5 μ s
1518	100.0	< 5 μ s

